



ENCYCLOPÉDIE-RORET.

CHAUFOURNIER

PLATRIER, CARRIER ET BITUMIER

MANUELS-RORET

NOUVEAU MANUEL COMPLET DU CHAUFOURNIER DU PLATRIER, DU CARRIER ET DU BITUMIER

traitant de

L'EXPLOITATION DES CARRIÈRES,
LA FABRICATION DES CHAUX ET DES CIMENTS,
LES PROPRIÉTÉS DES MORTIERS ET DES BÉTONS,
LA FABRICATION DU PLATRE, DES BITUMES ET DES ASPHALTES,

Par M. M.-D. MAGNIER
Ingénieur.

NOUVELLE ÉDITION, CORRIGÉE ET AUGMENTÉE

Par M. ROMAIN
Ingénieur,
Ancien élève de l'Ecole polytechnique.

OUVRAGE ORNÉ DE FIGURES
ET ACCOMPAGNÉ DE PLANCHES.

PARIS
LIBRAIRIE ENCYCLOPÉDIQUE DE RORET
RUE HAUTEFEUILLE, 12.
1881

AVIS

Le mérite des ouvrages de l'**Encyclopédie-Roret** leur a valu les honneurs de la traduction, de l'imitation et de la contrefaçon. Pour distinguer ce volume, il porte la signature de l'Editeur, qui se réserve le droit de le faire traduire dans toutes les langues, et de poursuivre, en vertu des lois, décrets et traités internationaux, toutes contrefaçons et toutes traductions faites au mépris de ses droits.

Le dépôt légal de ce Manuel a été fait dans le cours du mois de Décembre 1880, et toutes les formalités prescrites par les traités ont été remplies dans les divers Etats avec lesquels la France a conclu des conventions littéraires.

Roret

PRÉFACE

Ce Manuel traite des matériaux de construction pris au sein de la terre, de leur extraction et de leur préparation. Le *Manuel du Maçon* qui en forme la suite, est consacré à l'étude de la mise en œuvre de ces matériaux.

Tout l'art de la construction est basé sur l'utilisation des matériaux qui nous occupent dans ce volume. Les procédés à l'aide desquels ils sont extraits directement du sein de la terre, ou fabriqués ensuite à l'aide de ces matériaux, sont donc une étude des plus intéressantes et indispensable à tous ceux qui s'occupent de cet art.

L'industrie du chaufournier est devenue aujourd'hui considérable depuis que, par sa découverte, Vicat a fixé les principes de la science sur ces matières.

L'emploi de la chaux date des temps les plus re-

culés, mais la connaissance exacte des diverses natures de chaux, de leurs propriétés et qualités respectives ne date réellement que de 1810, époque à laquelle parurent les premiers mémoires de Vicat. Jusque-là, la chaux grasse était seule reconnue comme susceptible d'être employée dans les constructions. Vicat fit éclater la supériorité d'une certaine chaux maigre, appelée chaux hydraulique, parce qu'elle fait prise sous l'eau. Il en étudia les diverses espèces, et non content d'ouvrir une voie des plus larges à l'industrie, en lui divulguant toutes ses études et leurs conséquences, il parcourut lui-même le sol de la France, indiquant partout où il en rencontrait les carrières pouvant fournir de la pierre à chaux de diverses qualités, et montrant quelles richesses nous possédions à ce point de vue.

Continuant infatigablement les travaux qu'il avait entrepris sur ces matières, il montre comment on peut fabriquer artificiellement des chaux hydrauliques avec un calcaire n'en fournissant pas de lui-même. Il passe de l'étude des chaux à celle des ciments, et grâce à lui, la France cesse d'être tributaire de l'Angleterre pour ce produit dont la consommation se développe de jour en jour, et peut, à son tour, fournir du ciment Portland au monde entier.

Nous nous sommes efforcés, dans cette nouvelle édition, d'ajouter aux résultats déjà fournis aux carriers, chaufourniers et plâtriers, tous ceux que les nouvelles découvertes avaient consacrés.

Nous avons emprunté à MM. Rivot et Chatoney des documents des plus essentiels sur la nature des mortiers et des bétons obtenus avec les diverses chaux et ciments, et sur l'action que l'eau de mer exerce sur eux. Cette étude remarquable qui est venue éclaircir et fixer un certain nombre de points encore obscurs dans les effets produits par ces substances, a permis enfin d'agir d'une façon beaucoup plus certaine qu'autrefois. Aussi avons-nous donné avec détails des extraits des mémoires de ces remarquables ingénieurs. Nous nous sommes aussi étendus sur les procédés d'analyse, soit des calcaires, soit des chaux ou ciments produits, convaincus que ces éléments sont des plus indispensables à tous les industriels s'occupant de cette fabrication.

Ces analyses, bien simples en elles-mêmes, sont trop souvent négligées, et leur étude, un peu plus sérieuse, éviterait bien des mécomptes et apporterait des perfectionnements bien profitables dans beaucoup d'usines.

Nous avons cherché à réunir aux renseignements pratiques, à la description des procédés rationnels,

les notions théoriques qui peuvent contribuer aux nouveaux développements d'une industrie qui tient une si grande part dans l'art de la construction.

Enfin, nous avons ajouté en appendice, les renseignements analogues au sujet des *bitumes et des asphaltes*. Bien que ces matières soient en réalité asse différentes des précédentes, elles ont cependant entr elles des points de ralliement, par leurs gisement dans la nature, leurs procédés d'extraction et leur applications. Elles sont en effet employées aujour d'hui et sur une grande échelle pour des revêtement soit intérieurs, soit extérieurs, concurremment av certains mortiers et ciments, qu'ils remplacent mêm avantageusement. Ce sont les raisons qui nous on fait penser qu'il était utile d'ajouter l'étude de c matières à celle des chaux et ciments, afin que l personnes intéressées aient tous les renseignemen utiles réunis à la fois sous la main.

NOUVEAU MANUEL COMPLET

DU

CHAUFOURNIER

CHAPITRE Ier.

Généralités sur la Chaux.

1. Depuis le commencement de ce siècle on sait que la chaux, qui était connue dès la plus haute antiquité, n'est pas un corps simple, mais bien une combinaison de calcium et d'oxygène, dans les proportions, en poids, de 250 parties de calcium et de 100 parties d'oxygène.

La chaux, ou protoxyde de calcium, est très-répandue dans la nature, mais elle ne s'y trouve jamais à l'état libre. Elle est toujours unie avec des acides. Combinée avec l'acide carbonique, elle forme la pierre à chaux; avec l'acide sulfurique, elle forme la pierre à plâtre. Nous n'avons à nous occuper, pour le moment, que de ces deux composés.

2. Le carbonate de chaux (combinaison de la chaux avec l'acide carbonique) a pour composition :

Calcium. . .	250	350 protoxyde de calcium.
Oxygène. . .	100	
Carbone. . .	75	275 acide carbonique.
Oxygène. . .	200	
	625	

3. Le *carbonate de chaux à l'état naturel* se trouve en abondance dans le sein ou à la surface de la terre. Il

forme des montagnes entières et même des chaînes de montagnes, comme les Pyrénées, le Jura, les Vosges, les Apennins, une grande partie des Alpes, etc. On le rencontre dans tous les terrains, depuis les plus anciens jusqu'aux plus modernes. C'est lui qui, seul ou mêlé à quelques matières étrangères, constitue les marbres, la craie ou blanc d'Espagne, le calcaire compacte, les albâtres, etc. Il existe encore dans tous les végétaux, et constitue presque entièrement la coquille des œufs des oiseaux, les écailles de l'huître et la croûte terreuse des autres mollusques, les madrépores, les coraux et autres polypiers, etc. Le célèbre minéralogiste Haüy a décrit 154 variétés de carbonate de chaux cristallisé, et il a calculé qu'il y en avait plusieurs milliers de possibles. Toutes ces formes cristallines très diverses dérivent d'un rhomboïde obtus.

Toutes les variétés de pierres calcaires, même les coquilles et les madrépores vivants, sont susceptibles de fournir de la chaux vive par une calcination au rouge. Mais, dans l'industrie, elle se produit habituellement au moyen du *calcaire grossier*.

Les pierres calcaires avec lesquelles on fait la chaux ne sont pas du carbonate de chaux pur. Presque toujours, elles renferment des proportions plus ou moins considérables de corps étrangers qui modifient les qualités de la chaux et lui donnent même des propriétés différentes, comme nous le verrons plus loin.

Les variétés du carbonate de chaux sont très-nombreuses. Nous allons mentionner succinctement les plus importantes.

4. *Spath d'Islande.* — Ce carbonate de chaux est en cristaux rhomboédriques, incolores et transparents, qui présentent le phénomène remarquable de la double réfraction (1). Le carbonate de chaux spathique, quand il

(1) Si on place une épingle ou une ligne noire derrière un de ces cristaux, et qu'on regarde l'objet à travers deux faces parallèles d

est chauffé au rouge blanc, laisse un résidu de 46 pour 100 de chaux vive. Sa densité est 2,7.

5. *Arragonite.* — Ce corps a exactement la même composition que le spath d'Islande. Il cristallise dans un système différent. Ce qui prouve que la loi de Haüy n'est pas rigoureuse, et que le même corps peut quelquefois cristalliser dans des systèmes différents. Les cristaux d'arragonite sont des prismes rectangulaires.

L'arragonite est souvent d'un blanc laiteux ; elle présente des teintes jaunâtres et bleues, qui sont dues à la présence d'oxydes métalliques ; sa densité est 3,75. L'arragonite chauffée à une température peu élevée se délite, et se transforme en une multitude de petits cristaux qui présentent la forme du spath d'Islande.

6. *Marbres.* — Les marbres appartiennent à deux variétés de carbonate de chaux : la variété saccharoïde et la variété compacte.

Les marbres blancs, ou marbres statuaires, sont de la variété saccharoïde. Ils servent exclusivement aux sculpteurs. C'est du carbonate de chaux pur. On l'emploie dans les laboratoires.

La variété compacte fournit les marbres de toutes couleurs employés à l'ornementation et à l'ameublement. Leur nombre est infini et les noms qu'on leur donne sont arbitraires.

7. *Pierres.* — La plupart des pierres calcaires que l'on emploie à la fabrication de la chaux, sont des mélanges, *en proportions très-variables*, de carbonate de chaux et d'argile. La qualité des chaux qu'elles produisent dépend de la proportion relative de ces deux substances.

La *pierre à chaux,* pierre à bâtir des Parisiens, nom-

rhomboïde, on voit distinctement deux épingles ou deux lignes mises à côté l'une de l'autre. — C'est sur la propriété du phénomène de la double réfraction qu'est fondée la construction de la *lunette de Rochon*, qui permet d'apprécier la distance d'un objet quand on connaît ses dimensions, et réciproquement.

mée *calcaire grossier*, est une espèce de carbonate de chaux qui a une texture lâche, un grain ordinairement grossier, qui se laisse facilement entamer par les instruments tranchants, et n'est susceptible de recevoir aucun poli. Ses couleurs sont sales et varient entre le blanc, le gris et le jaune isabelle. C'est sans contredit une des pierres qui rendent le plus de services. Elle ne se rencontre pas également dans tous les pays; elle est commune en France, surtout aux environs de Paris, qui sont pour ainsi dire, criblés de carrières dont l'exploitation a contribué à la richesse de cette ville. On la nomme *pierre de taille* lorsqu'elle est en gros bloc, et *moellon* lorsque ses masses ne dépassent pas 17 décimètres cubes. Il y en a de tendre et de dure. Les variétés tendres éclatent par la gelée; on les appelle pierres *gélisses* ou *gélives*.

Toutes les pierres qui ne sont pas calcaires sont siliceuses.

Voici le tableau des principales pierres avec leurs propriétés les plus importantes :

NATURE DE LA PIERRE.	CARACTÈRES.	USAGES.	PRINCIPAUX GISEMENTS.	POIDS du mètre cube.
1° *Gypse*, pierre à plâtre.	Se laisse rayer par l'ongle, donne du plâtre par calcination	Fabrication du plâtre.	Environs de Paris.	2100k
2° *Pierres calcaires*.	Font effervesc. très-vive avec les acides.			
Craie..	Friable, blanche.	Fabricat. de la chaux grasse et peinture en détrempe.	Champagne.	1468
			Meudon.	2000
Tufs calcaires.. . .	Caverneux.	Constructions.	Touraine.	1300
			Travertin de Rome.	2358
Calcaire grossier. .	Texture grossière avec coquilles.	Fabricat. de la chaux et constructions.	Bassin de Paris.	2300
Calcaire compacte. .	Texture compacte.	Constructions, marbres communs, pierres lithographiques.	Château-Landon, Belgique.	2400
Marbre..	Texture saccharoïde.	Décoration.	Pyrénées, Italie.	2700
3° *Pierres siliceuses*.	Etincellent sous le briquet.			
Silex pyromaque. .	Cassure conchoïde.	Constructions, pierres à fusil.	Seine-et-Oise.	2400

NATURE DE LA PIERRE.	CARACTÈRES.	USAGES.	PRINCIPAUX GISEMENTS.	POIDS du mètre cube.
Pierre meulière. . .	Texture caverneuse.	Constructions, meules de moulins.	Seine-et-Oise, Seine-et-Marne.	2400
Granite.	Très-dur, cristallin.	Constructions, dallage, décorations.	Normandie, Bretagne.	2800
Porphyre.	Id.	Décoration.	Vosges, Pyrénées.	2850
Grès.	Grains agglomérés par un ciment argileux ou calcaire.	Construction, pavage, dallage.	Fontainebleau.	2800
4° *Pierres volcaniques.*	Font feu au briquet.			
Lave.	Texture demi-poreuse.	Constructions.	Volvic.	2250
Trachyte.	Très-dur, compacte.	Constructions, dallage.	Bords du Rhin.	2800
Trapps, basaltes. .	Très-durs, de couleur foncée.	Pavage, bornes.	Cantal, Puy-de-Dôme, Ecosse.	3000
Tufs volcaniques. .	Très-poreux.	Constructions.	Environs de Naples.	1260
5° *Ardoises.*	Peu dures, schisteuses.	Couvertures.	Angers.	2800
			Ardennes.	2937

8. *Craie.* — La craie est une des variétés les plus communes du carbonate de chaux non cristallisé. Elle constitue des masses considérables et forme le sol de contrées entières, comme en Champagne, sur les côtes de la Manche, aux environs de Rouen, etc.

Cette espèce de pierre a un tissu lâche, une cassure terreuse; elle est friable et très-tendre, presque toujours blanche, quoiqu'on en trouve de grise et de verte.

La *craie tuffeau* est un calcaire grossier, à cassure inégale, d'une texture terreuse, rude au toucher et d'une couleur jaunâtre. On s'en sert comme moellons, et quelquefois comme pierre de taille.

9. *Dolomie.* — La dolomie est un carbonate double de chaux et de magnésie. Elle est plus dure que le carbonate de chaux proprement dit. Sa densité varie depuis 2,7 jusqu'à 2,10. Elle est formée de 54 de carbonate de chaux et de 46 de carbonate de magnesie. La dolomie est fréquemment mélangée avec l'un des principes qui la constituent, ce qui fait que les proportions de l'un ou de l'autre carbonate sont très-variables.

On la trouve en masses considérables dans certaines localités, surtout en Angleterre, dans le Sunderland, où elle atteint jusqu'à une épaisseur de plus de 100 mètres. Dans quelques pays on emploie la dolomie comme pierre de construction : ainsi la belle cathédrale gothique de York est entièrement construite avec cette pierre. C'est la dolomie qui forme ces montagnes abruptes et déchiquetées, à arêtes vives, dites aiguilles, que l'on rencontre dans les Alpes et qui excitent à un si haut degré l'admiration des voyageurs.

La dolomie est quelquefois cristallisée en rhomboèdres de 106° 15' et 74° 45', qui, suivant M. Thénard, offrent peu de modifications. Le plus souvent elle est amorphe, plus ou moins grenue et rude au toucher, blanche ou jaunâtre. On la distingue du carbonate de chaux, en ce qu'elle se dissout beaucoup plus lentement dans l'acide hydrochlorique étendu, et presque sans ef-

fervescence, et en ce que, après calcination, elle ne se délite pas à l'air libre.

Il paraît, d'après des expériences de M. Vicat, que la magnésie, lorsqu'elle intervient en fortes proportions, peut rendre hydraulique de la chaux très-pure. C'est parce que les chaux naturelles du Lardin (Dordogne) renferment 42 pour 100 de magnésie, qu'elles jouissent si parfaitement de l'hydraulicité. Ces faits prouveraient que les dolomies peuvent servir à obtenir de très-bonne chaux hydraulique, comme nous le verrons plus loin, quoique les auteurs ne soient pas bien d'accord à cet égard.

10. *Marne.* — On donne le nom de marne à une espèce d'argile très-calcaire qu'on emploie beaucoup pour amender les terres.

La marne, quand elle est à l'air, n'a pas de consistance et se délite. Elle se délaie facilement dans l'eau.

La marne est un mélange, en proportions très-variables, de calcaire (carbonate de chaux) et d'argile.

Quand on veut fabriquer de la chaux hydraulique (artificielle), ou plutôt transformer de la chaux grasse en chaux hydraulique, on mélange du carbonate de chaux (procédé à première cuisson) avec de l'argile, et on fait cuire ce mélange; ou, par un autre procédé, qu'on nomme à deuxième ou double cuisson, on mélange l'argile à de la chaux déjà cuite et éteinte, pour former des briquettes ou des boules, qu'il faut encore faire cuire pour obtenir de la chaux hydraulique. On comprend que l'argile et la chaux, pour arriver à être mélangées convenablement, ont besoin d'un travail considérable.

La marne, au contraire, n'en demande presque pas. C'est un mélange de craie et d'argile, qui se trouve tout fait, qui se délite et se délaie facilement, et qui, par conséquent, est extrêmement propre à la fabrication de la chaux hydraulique factice.

Seulement, quand les proportions ne sont pas convenables, il faut y ajouter, tantôt de l'argile, tantôt de la chaux, mais presque toujours de cette dernière.

Dans le département de Seine-et-Marne, on fabrique de la chaux moyennement hydraulique, en faisant cuire de la marne, telle qu'elle se trouve dans la nature.

11. *Albâtre.* — Il y a deux espèces d'albâtre : l'*albâtre gypseux*, qui est un sulfate de chaux ou pierre à plâtre saccharoïde et translucide, il forme ordinairement les couches inférieures des carrières de gypse ; l'*albâtre calcaire*, qui est un carbonate de chaux. On distingue aisément l'albâtre gypseux de l'albâtre calcaire, à sa tendreté, à sa fragilité, et surtout parce qu'il ne fait pas effervescence, comme ce dernier, avec les acides.

Le gypse pur se compose de :

Acide sulfurique	46
Chaux	32
Èau	22
	100

Mais le gypse que l'on calcine pour obtenir le plâtre et qui s'extrait des carrières des environs de Paris est rarement pur. C'est un mélange de sulfate et de carbonate de chaux. Ainsi à Paris il entre environ 8 0/0 de carbonate dans le gypse.

La structure du gypse est compacte, granulaire, lamellaire, fibreuse ; sa cassure est conchoïde, droite ; sa couleur est blanche quand il est pur, le plus souvent gris, jaune, et quelquefois noir. Cette pierre prend l'empreinte du marteau et est difficile à casser. Le gypse est très-tendre, il se laisse facilement rayer par l'ongle et couper au couteau. Sa densité est de 2,25 à 2,30.

De la composition des Calcaires. Chaux qu'ils produisent et propriétés des diverses Chaux.

12. On divise les chaux en deux classes : les *chaux aériennes*, qui, après avoir été délayées dans l'eau, ont la propriété de durcir à l'air, mais qui conserveraient indéfiniment leur état mou si on les mettait sous l'eau

ou dans un vase privé d'air, et les *chaux hydrauliques*, qui ont la précieuse qualité de *faire prise*, de durcir sous l'eau, après un temps plus ou moins long.

On distingue deux sortes de chaux aériennes : la *chaux grasse* et la *chaux maigre* :

13. La *chaux grasse* s'obtient en calcinant complètement les calcaires purs, ou à peu près purs, comme le marbre blanc et certaines craies. Ces calcaires peuvent être fortement calcinés sans inconvénient, car on n'a pas à redouter, comme pour les calcaires impurs, la vitrification de matières fondantes que peuvent contenir ces derniers. La chaux grasse, en se combinant à l'eau, éprouve un *foisonnement* considérable, c'est-à-dire que son volume augmente dans une grande proportion.

14. La *chaux maigre* donne beaucoup moins de chaleur en s'éteignant et ne foisonne presque pas. Cette chaux est produite par des calcaires mélangés de magnésie, de manganèse, d'oxyde de fer ou de sable quarzeux. Elle donne une pâte courte, qui n'a ni le liant ni l'onctuosité des chaux grasses. Les chaux maigres développent peu de chaleur quand on les met en contact avec l'eau. Elles durcissent à l'air, mais elles se désagrègent dans l'eau, comme les chaux grasses. (Voir n° 9.)

15. *Les chaux hydrauliques naturelles*, durcissant à l'air et sous l'eau, sont produites par des calcaires contenant de l'argile. Elles durcissent plus ou moins promptement sous l'eau suivant leur composition. M. Vicat les a divisées en *chaux moyennement hydraulique*, celle qui ne fait prise qu'après quinze ou vingt jours d'immersion et qui ne devient jamais très-dure ; en *chaux hydraulique ordinaire*, qui fait prise du sixième au huitième jour ; en *chaux éminemment hydraulique*, qui fait prise du deuxième au quatrième jour ; en *chaux limites*, en *ciments limites inférieurs*, en *ciments ordinaires*, en *ciments limites supérieurs* et en *pouzzolanes*.

16. Le tableau suivant donne les relations générales qui existent entre les différentes espèces de produits obtenus par la calcination de divers calcaires.

	CHAUX MAIGRE. (1)	CHAUX GRASSE. (2)	CHAUX moyennement hydraulique. (3)	CHAUX HYDRAULIQUE ordinaire. (4)	CHAUX éminemment hydraulique. (5)	CIMENTS. (6)	POUZZOLANES. (7)
Poids d'eau absorbée par 1 de chaux vive. . . .	1.25 à 2	3.25 à 3.50	2.25 à 2.50	2	1.25 à 1.50	»	»
Rendement en pâte pour 1 de chaux vive. . . .	1.50 à 2.25	»	2.50 à 3	2.35	1.50 à 2	»	»
Temps nécessaire pour la prise.	»	»	15 à 20 j.	6 à 8 j.	2 à 4 j.	»	»
Dureté maxima.	»	»	Savon sec en 8 mois.	Pierre tendre 6 mois	Calcaire en 6 jours.	»	»
Composition de la Chaux vive: Chaux pure.. .	»	»	90 à 80	80 à 70	70 à 60	65 à 40	30 à 10
Composition de la Chaux vive: Matières étrangères, argile..	»	»	10 à 20	20 à 30	30 à 34	35 à 60	70 à 90
Composition de la Pierre calcaire: Calcaire. . . .	90 à 70	90 à 100	88 à 85	85 à 83	83 à 80	75 à 70	43 à 16
Composition de la Pierre calcaire: Matières étrangères ou argile	10 à 30	10 à 1	12 à 15	15 à 17	17 à 20	25 à 30	57 à 84

Observations.

(1) Les matières étrangères contenues dans la pierre calcaire sont principalement des oxydes de fer et de magnésie.

(2) Il ne doit y avoir que de l'argile comme matière étrangère, seulement des traces de fer et magnésie.

(3) Difficilement soluble dans l'eau.

(4) et (5) Insolubles dans l'eau.

(6) Les ciments dont nous nous occuperons spécialement plus loin, ne fusent pas, il faut les pulvériser et les gâcher pour obtenir une pâte. Ils sont classés à prise rapide ou lente, suivant qu'ils prennent en quelques minutes ou jusqu'à dix et douze minutes.

(7) Les pouzzolanes ne peuvent être employées que pour rendre hydrauliques des chaux grasses.

17. Nous donnons dans le tableau suivant la composition détaillée de quelques calcaires, ainsi que celle de la chaux obtenue en les calcinant.

TABLEAU de la composition de quelques calcaires et des chaux qu'ils fournissent.

LIEUX de l'extraction.	Composition des calcaires sur 100 parties.					Composition des chaux sur 100 parties.					OBSERVATIONS
	Carbonate de chaux.	Carbonate de magnés.	Oxyde de fer.	Argile.	Sable.	Chaux.	Magnésie.	Oxyde de fer.	Argile.	Sable.	
Marbre de Carrare.. . . .	100,00	»	»	»	»	100,00	»	»	»	»	Très-grasse.
Vaugirard, près Paris. . .	98,50	»	»	1,50	»	97,20	»	»	2,80	»	Très-grasse.
Lagneux (Ain).	94,00	1,60	3,90	0,50	»	91,60	1,50	»	6,00	»	Grasse.
Vichy (Allier).	87,20	10,00	2,80	»	»	86,00	9,00	»	5,00	»	Médiocrem. grasse.
Calviac (Dordogne). . . .	77,80	»	»	2,60	19,60	70,00		»	3,25	24,75	Très-maigre. Perte 2 pour cent.
Villefranche (Aveyron). .	60,90	30,30	8,80	»	»	60,00	26,20	13,80	»	»	Très-maigre. Contient du mangan.
Saint-Germain (Ain).. . .	87,00	0,50	7,10	5,40	»	83,00	0,40	9,60	7,00	»	Moyennement hydraulique.
Chanay (près Mâcon). . .	89,20	3,00	»	7,80	»	84,00	2,50	»	13,50	»	Moyennement hydraulique.
Nîmes (Gard).	86,00	5,00	»	9,00	»	82,50	4,10	»	13,40	»	Hydraulique.
Metz.	78,00	3,00	4,00	15,00	»	68,30	2,00	5,70	24,00	»	Eminemment hydraulique.
Sénonches (Eure-et-Loir).	80,00	1,00	»	19,00	»	70,00	1,00	»	29,00	»	Eminemment hydraulique.

NOTA. On trouve des traces d'oxyde de manganèse dans lè calcaire de Metz ; et l'argile du calcaire de Sénonches se compose de : silice, 17 ; alumine, 11 ; eau, 1.

18. On peut tirer du tableau précédent les conclusions suivantes :

La présence de la magnésie et de l'oxyde de fer dans le calcaire détermine à la cuisson des chaux aériennes, et même des chaux maigres s'ils sont en proportion appréciable.

La présence de la silice pure ou mélangée d'alumine donne lieu à la production de chaux hydraulique et en opérant par synthèse on a établi le classement suivant :

	Argile.	Chaux.
Chaux hydrauliques, celles qui sur 100 parties se composent de	10	90
	20	80
	30	70
Limite.	35	65
Chaux-ciments ou ciments naturels.	40	60
	50	50
	60	40
Limite.	61	39
Pouzzolanes..	70	30
	80	20
	90	10

19. Pour la fabrication des chaux hydrauliques, on pourra donc adopter les proportions suivantes :

	Argile.	Chaux.
Chaux moyennement hydraulique.	18	82
Chaux hydraulique.	25	75
Chaux éminemment hydraulique. .	30	70
Chaux-ciment.	40	60
	50	50

20. M. Durand-Claye, ingénieur des ponts-et-chaussées, qui a eu, lors de son séjour au laboratoire d'essais de l'école, l'occasion de beaucoup s'occuper des chaux et des ciments, a remarqué que lors de la classification des chaux, Vicat avait fait porter la classification sur les proportions d'argile contenue dans le calcaire, et que conduit à refaire plusieurs fois ce tableau à divers intervalles,

il avait présenté des résultats qui, sans être dissemblables, n'étaient pas identiques. D'autre part, Vicat avait lui-même proposé d'employer pour ce classement l'indice d'hydraulicité. Il donnait ce nom au rapport entre le poids de l'argile et de la chaux caustique.

C'est en partant de ce point de vue, compulsant les ouvrages de Vicat, se servant de tous les renseignements fournis par les nombreuses analyses du laboratoire, que M. Durand-Claye a établi une nouvelle classification des chaux.

Étant donné que l'on nomme indice d'hydraulicité, le rapport qui existe entre le poids d'argile et de chaux caustique contenu dans la chaux, les chaux peuvent être classées comme suit, d'après les valeurs de cet indice :

Chaux grasse ou maigre. . . .	0.00
— faiblement hydraulique. .	0.10 à 0.16
— moyennement — .	0.16 à 0.31
— hydraulique.	0.31 à 0.42
— éminemment hydraulique	0.42 à 0.50
— limite.	0.50 à 0.65
Ciment.	0.65 à 1.20
Ciment maigre.	1.20 à 3.00
Pouzzolane.	3.00 et au-dessus.

D'autre part, si on suppose le calcaire composé d'argile et de carbonate seulement, les valeurs de l'indice correspondraient aux quantités suivantes p. 100 d'argile dans le calcaire :

Chaux grasse ou maigre. . . .	0.0 à 5.3
— faiblement hydraulique. .	5.3 à 8.2
— moyennement — .	8.2 à 14.8
— hydraulique..	14.8 à 19.1
— éminemment hydraulique.	19.1 à 21.8
— limite.	21.8 à 26.7
Ciment..	26.7 à 40
Ciment maigre..	40 à 62.6
Pouzzolane.	62.6 et au-dessus.

21. Il sera parlé plus loin des ciments, mais nous allons donner de suite la composition de ce calcaire et celle du ciment qu'il produit, afin de pouvoir faire un rapprochement avec le tableau précédent :

		Calcaire anglais.	Calcaire boulonnais.
Carbonate de chaux.		657	616
Carbonate de magnésie.. . . .		005	»
Carbonate de fer.		060	060
Carbonate de manganèse. . . .		019	»
Argile	silice.	180	150
	alumine..	066	048
	oxyde de fer.	»	030
Perte.		»	030
		1.000	1.000

La calcination de ces calcaires donne des ciments qui ont la composition suivante :

	Ciment anglais.	Ciment boulonnais.
Chaux.	554	540
Argile.	360	310
Oxyde de fer.	086	150
	1.000	1.000

La calcination d'une pierre russe, qui fournit un ciment supérieur, donne pour résultat :

Chaux..	620
Argile.	380
	1.000

Voici maintenant la composition du terrasse et de la pouzzolane, dont il sera aussi parlé plus loin :

Trass ou terrasse de Hollande.

Carbonate de chaux.	65
Silice.	570
Alumine..	280
Fer.	85
	1.000

Pouzzolane.

Chaux..	50
Silice.	350
Alumine.	400
Fer.	200
	1.000

Avant de parler des moyens d'analyser les substances qui font l'objet de ce manuel, nous allons nous occuper des corps qui accompagnent la chaux dans les matières hydrauliques et de quelques-uns de leurs composés.

Caractères de la Silice, de l'Alumine, de la Magnésie et de quelques-uns de leurs composés.

22. En raison de l'importance du rôle que jouent ces trois corps dans la composition des calcaires argileux, qui produisent des matières hydrauliques, nous croyons devoir exposer le caractère de chacun d'eux.

La *silice* ($Si\,O^3$) ou *acide silicique*, se trouve dans la nature en quantité considérable, soit libre, soit combinée.

Toutes les variétés de quarz sont de la silice pure ou presque pure, anhydre ou hydratée : ainsi le cristal de roche, les agates, les jaspes, les pierres meulières, sont de la silice anhydre; les quarz résinites, parmi lesquels figurent l'opale, le silex (quarz pyromaque, ou pierre à feu), sont de la silice hydratée dans laquelle la proportion

d'eau varie considérablement, mais en proportion définie.

La silice fait partie des granits, des gneiss, des roches feldspathiques, des argiles, des schistes, etc. Le tripoli est de la silice terreuse. Le grès est un sable quarzeux agglutiné par un ciment calcaire ou siliceux. Le sable de l'Océan, des terrains arénacés, des rivières, est le plus ordinairement composé de grains de silice plus ou moins mêlée de carbonate de chaux, et d'autres corps. Enfin la silice constitue à elle seule, non-seulement des roches, mais des terrains. La silice présente des propriétés très différentes sous certains rapports, selon qu'elle est anhydre ou hydratée.

La *silice anhydre* est blanche, pulvérulente, quand elle est obtenue artificiellement ; elle est en cristaux transparents dans la nature (cristal de roche). La silice anhydre, naturelle ou artificielle, est inattaquable par les acides, excepté par l'acide fluorhydrique, qui la transforme en eau et en fluorure de silicium, gaz incolore, d'une odeur suffocante et qui fume à l'air.

La *silice hydratée* peut contenir des quantités très diverses d'eau ; si elle en contient beaucoup, elle est sous forme d'une gelée tremblante et transparente. La silice hydratée est soluble dans les acides et les alcalis.

On obtient la silice hydratée parfaitement pure en décomposant par l'eau le fluorure de silicium. Il se forme, dans ce cas, de la silice gélatineuse et de l'acide hydrofluosilicique. Quand on met le fluorure de silicium en contact avec l'eau, il est absorbé sur-le-champ en proportion considérable, et il se précipite de la silice gélatineuse.

On convertit l'acide silicique hydraté en acide anhydre en le chauffant au rouge.

L'acide silicique, un des composés les plus stables et les plus infusibles, tout-à-fait insoluble dans l'eau et les acides, quand il a été desséché et rougi au feu (excepté dans l'acide fluorhydrique), forme, par sa calcination

avec la soude et la potasse, des composés très solubles et très fusibles.

Cependant la plupart des *silicates* sont insolubles. Les silicates alcalins, avec grand excès de base, sont seuls solubles dans l'eau.

En général, les silicates fondent par l'action de la chaleur ; mais quelques-uns, tels que les silicates d'alumine et de chaux, exigent les températures les plus élevées.

L'état de la silice exerce une grande influence sur la qualité de la chaux qu'elle produit. Ainsi, la silice en gelée, calcinée avec du carbonate de chaux, donne une chaux hydraulique de bonne qualité. Le cristal de roche, au contraire, réduit en poudre et calciné avec du carbonate de chaux, produit une chaux maigre qui n'est nullement hydraulique. La silice, telle qu'elle se trouve dans l'argile, est dans un état favorable à la production des chaux hydrauliques.

L'*alumine* ($Al^2\,O^3$), ou *oxyde d'aluminium,* existe en grande quantité dans la nature. On trouve l'alumine dans les argiles, les marnes, le feldspath, le mica, etc., et dans un grand nombre de métaux.

Lorsque l'alumine est pure, on lui donne le nom de *corindon.* C'est, après le diamant, le corps le plus dur. L'*émeri* est un corindon opaque, qui contient une assez grande quantité de fer.

Pour préparer l'alumine pure par voie sèche, on se sert ordinairement du procédé de Gay-Lussac, qui consiste à calciner au rouge l'alun ammoniacal, qui a pour formule :

$$(Az\,H^3,\,H\,O,\,S\,O^3),\,(Al^2\,O^3,\,(S\,O^3)\,^3),\,24\,H\,O.$$

Tous les éléments qui entrent dans ce sel se dégagent par la chaleur, à l'exception de l'alumine, qui reste parfaitement pure.

L'alumine ainsi préparée est blanche, elle happe à la langue; elle est infusible aux températures les plus élevées que l'on puisse produire dans les fourneaux.

L'alumine est indécomposable par la chaleur.

Elle est insoluble dans l'eau. Elle est soluble dans les acides lorsqu'elle n'a pas été calcinée; mais si on la soumet à une température élevée, elle ne se dissout plus que très-difficilement.

L'alumine est complètement soluble dans la potasse et la soude.

L'alumine, exposée à l'air, n'absorbe pas l'acide carbonique ; on ne connaît pas, jusqu'à présent, de carbonate d'alumine.

On peut obtenir l'alumine hydratée en précipitant un sel d'alumine par l'ammoniaque, ou mieux par le carbonate d'ammoniaque. Il se forme un précipité gélatineux, que l'on considérait comme insoluble dans l'eau, mais qui a été reconnu dernièrement comme sensiblement soluble dans ce liquide.

L'hydrate d'alumine ainsi obtenu retient fortement l'eau, et ne l'abandonne complètement qu'au rouge vif.

L'alumine anhydre ne se combine pas directement avec l'eau; mais l'alumine peut condenser une quantité considérable d'humidité.

L'*argile pure* (le kaolin) peut avoir pour formule $Al^2 O^3$. $Si O^3 + 2 H O$, qui représente un équivalent d'alumine, un équivalent de silice et deux équivalents d'eau. Les argiles ordinaires ne s'éloignent pas beaucoup de cette composition ; mais elles sont souvent mélangées de matières étrangères qui en altèrent considérablement les propriétés physiques et chimiques.

L'argile pure est complètement infusible à la chaleur la plus élevée de nos fourneaux; l'argile mélangée de sable l'est également. Mais elle devient fusible quand elle renferme des proportions notables d'oxyde de fer ou de carbonate de chaux.

On a dit plus haut que la silice gélatineuse donnait, par sa calcination avec le carbonate de chaux, une bonne chaux hydraulique. Mais c'est à la formation d'un silicate d'alumine et de chaux ou de magnésie et de chaux, que la solidification d'une chaux hydraulique doit être attri-

buée. Le silicate se combine avec l'eau et produit un hydrate excessivement dur et insoluble dans l'eau. Le durcissement de la chaux hydraulique peut donc, suivant MM. Pelouze et Frémy, être comparé à celui du plâtre cuit, qui se combine avec l'eau pour former un hydrate solide.

La *magnésie* (Mg O), ou *oxyde de magnésium*, s'obtient à l'état d'hydrate en précipitant un sel de magnésie par de la potasse en excès. En calcinant cet hydrate, on a de la magnésie anhydre.

La magnésie est une poudre blanche, insipide, inodore, infusible aux plus hautes températures de nos fourneaux. Elle est très-peu soluble dans l'eau; car elle exige plus de 5,000 parties d'eau pour se dissoudre.

Lorsqu'on met la magnésie en contact avec l'eau, elle s'hydrate très-lentement; si on l'expose à l'air, elle absorbe à la fois l'acide carbonique et l'humidité. Son hydrate est représenté par la formule Mg O, H O.

La magnésie ne se trouve dans la nature, que combinée isolément avec des acides et à l'état d'hydrate.

Tous les sels de magnésie ont une saveur amère.

Le *sulfate de magnésie* existe dans plusieurs eaux minérales (eau d'Epsom, de Sedlitz). On peut l'obtenir en grand, en traitant le carbonate double de chaux et de magnésie (dolomie) par l'acide sulfurique; il se forme du sulfate de chaux insoluble et du sulfate de magnésie soluble. Les eaux-mères des salines renferment des proportions considérables de sels de magnésie. Le sulfate de magnésie est décomposé par le sel marin, en présence de l'eau et sous l'influence d'une basse température, en sulfate de soude et en chlorure de magnésium.

Le *carbonate de magnésie* se trouve dans la nature, en combinaison avec le carbonate de chaux. Presque tous les calcaires renferment une petite quantité de magnésie. La *dolomie*, qui forme des roches considérables, est un carbonate double de magnésie et de chaux qui a pour

formule $CaO.CO^2 + MgO.CO^2$. Cependant, ces deu[x] carbonates s'unissent parfois en toutes proportions.

Certaines variétés de dolomie sont mêlées de silicates Dans ce cas, suivant MM. Pelouze et Frémy, elles peuven[t] être employées à la fabrication de la chaux hydraulique

Les *silicates de magnésie* se trouvent dans la natur[e] et portent les noms de talc, stéatite, écume de mer, péridot, serpentine, etc. Ils forment dans quelques localités, des roches entières, ou des filons. Généralemen[t] ces silicates sont combinés avec l'eau.

La silice et la magnésie peuvent se combiner entr[e] elles en plusieurs proportions. Elles s'unissent à un[e] haute température, mais ne peuvent donner de combinaisons fusibles.

23. Presque tous les chlorures sont solubles dans l'eau On trouve dans la nature les chlorures de sodium, d[e] potassium, de magnésium, de calcium... Le chlorure d[e] silicium est liquide; le chlorure d'aluminium est très-soluble dans l'eau.

L'eau de mer contient des chlorures en grande proportion (voir chap. VIII, la composition des eaux de mer).

Analyse chimique des calcaires,
d'après M. l'ingénieur des mines Rivot.

24. Le carbonate de chaux plus ou moins pur, et désigné généralement sous le nom de calcaire, peut être examiné au laboratoire de diverses façons, suivant l'usage auquel il est destiné.

25. Le cas le plus simple est celui où le carbonate sera employé comme fondant dans les usines métallurgiques. Il suffit d'évaluer les proportions de chaux, magnésie, oxyde de fer, de quarz et d'argile qu'ils contiennent, quelquefois à rechercher s'il n'entre pas des pyrites, ou autres corps nuisibles.

26. Lorsque le carbonate est destiné à l'agriculture, soit qu'on l'emploie directement comme marne, ou après

cuisson comme chaux caustique, le but principal de l'analyse est de déterminer la proportion d'argile, sa plus ou moins grande facilité à se déliter à l'air, constater la présence du sulfate et phosphate de chaux, l'influence du degré de cuisson sur la nature du produit, et évaluer approximativement la proportion de silice que la chaux pourra céder à l'eau chargée d'acide carbonique.

27. Pour les calcaires destinés à la fabrication des chaux et ciments, il faut bien étudier comment se comporte l'homogénéité du banc calcaire, la proportion de sable et d'argile contenus, ainsi que leur état physique, l'absence de pyrite, les proportions de magnésie, de sulfate de chaux, étudier attentivement les résultats obtenus suivant les divers degrés de cuisson appliqués.

Nous allons donner l'analyse d'un échantillon de calcaire sans désignation d'emploi spécial. Les résultats de l'analyse devant, en dehors des questions d'ordre économique, indiquer à quel usage il peut être le mieux employé.

Il est facile de distinguer la nature de chaux que donnera le calcaire par une cuisson convenable. On traite un poids déterminé, environ 3 à 4 grammes, par l'acide azotique très étendu, on recueille le résidu, on le pèse après l'avoir bien lavé, séché et calciné.

Si le poids du résidu est faible, le calcaire est impropre à la fabrication de la chaux. Dans l'autre cas, il s'agit de reconnaître la nature de chaux fournie, grasse ou maigre.

Le procédé le plus simple et le plus rapide est un essai direct. On chauffe au rouge vif et pendant au moins une heure plusieurs morceaux de calcaire dans un grand creuset de terre, on laisse refroidir à l'abri de l'air. La chaux ainsi obtenue est traitée par l'eau, et d'après la façon dont elle se comporte, par son foisonnement, par la chaleur dégagée, on reconnaît aisément si l'on a affaire à une chaux grasse ou maigre.

Lorsqu'en attaquant le calcaire par l'acide azotique

faible on obtient un résidu un peu fort de 7 à 8 °/₀, c
bien une proportion plus grande de quarz ou d'argil
le calcaire peut être propre à donner de la chaux hydrau
lique. S'il renferme plus de 30 °/₀ d'argile, il peut s
comporter comme marne pour l'agriculture.

Quand on veut, dans certaines circonstances, soume
tre à la cuisson une certaine quantité de pierres qui o
paru propres à fournir de la chaux d'une espèce quelco
que, et qu'il n'est pas possible de disposer de fours e
activité dans le pays, on pourra, en toute confiance, avo
recours au petit fourneau dont les figures 35, 36 et 3
indiquent suffisamment la construction.

On introduit le calcaire sur la grille *g*, par l'ouvertu
e, et l'on allume un feu de houille, de coke ou de char
bon de bois sur la grille G.

La clef placée dans le tuyau de tôle *t* sert à activer o
à modérer le foyer.

La chemise intérieure de ce fourneau est en briqu
réfractaires et enveloppée d'une maçonnerie grossière.

On peut cuire, en cinq ou six heures, une quantité d
chaux suffisante pour fabriquer du mortier par le pro
cédé même qui doit être employé.

L'espace vide *e* peut servir, au besoin, comme un
étuve fort commode.

28. Lorsqu'on veut étudier plus à fond le calcaire qu
l'on a entre les mains, et surtout si l'on veut étudier se
propriétés hydrauliques, il faut avoir recours à une ana
lyse exacte et minutieuse.

Il faut d'abord apporter un grand soin dans le cho
de l'échantillon, et que celui-ci représente bien la natu
du banc, ou des bancs exploités. Les calcaires devro
être classés en deux catégories : Ceux qui ne renferme
pas de matières organiques, ou ceux qui sont imprégn
de matières bitumineuses. Supposons que nous ayo
affaire à un calcaire non bitumineux. Généralement il se
formé de :

Sable en grains de grosseur appréciable,

Sable quarzeux impalpable,
Argile et oxyde de fer,
Sulfate de chaux,
Carbonate de chaux et magnésie.

On détermine d'abord le *gros sable*, en pulvérisant rossièrement 20 à 25 grammes du calcaire, de façon à e pas écraser les grains. On lave le tout dans un petit uget de bois, et on recueille ainsi séparément les grains e gros sable; ceux-ci sont traités par l'acide azotique tendu, afin d'en séparer les grains d'autre matière qui uraient échappé à la pulvérisation; on lave, pèse et déermine ainsi exactement, la proportion de gros sable.

On peut arriver au même résultat par un autre proédé: on traite directement le calcaire par l'acide azotiue étendu sans le pulvériser; on lave à plusieurs reorises le résidu par décantation, de façon à entraîner es particules fines et à isoler le sable en gros grains.

L'eau hygrométrique s'évalue par dessiccation à 100°.

L'eau de combinaison et l'acide carbonique par calcinaion au rouge vif.

L'acide carbonique peut être dosé seul, bien qu'il y ait eu d'intérêt à le faire, en traitant un poids donné par 'acide chlorhydrique et recevant l'acide carbonique qui e dégage dans le chlorure de barium. Du poids de caronate de baryte produit, on déduit celui de l'acide caronique.

Le sulfate de chaux doit être dosé avec soin. Pour cela n prend 15 à 20 grammes du calcaire à analyser, on ulvérise et fait digérer pendant plusieurs jours dans un ssez grand volume d'eau, en agitant à de fréquentes rerises, on décante la liqueur, la renouvelle par de l'eau ure, et opère ainsi jusqu'à trois fois successives, en yant soin de conserver le résidu de ces lavages. On le oumet de nouveau aux mêmes opérations, et on évapore éparément les deux masses liquides obtenues; si la seonde laisse un résidu, on l'ajoute au premier, et on reouvelle cette opération une troisième fois sur ce qui

reste de l'échantillon du calcaire, jusqu'à ce qu'on so certain d'avoir entièrement épuisé tout le sulfate de chau Celui-ci, obtenu par évaporation des eaux de décanta tion, est pesé directement.

On prend 3 grammes d'échantillon traité par l'eau, c l'attaque par l'acide azotique, on évapore et on repren par l'acide azotique.

On obtient une partie insoluble qu'on lave, sèche calcine. Elle renferme le sable gros et fin, l'argile ina taquée, la silice provenant de la partie d'argile attaqué

La liqueur azotique contient l'oxyde de fer, un pe d'alumine, la chaux et la magnésie.

On prend la partie insoluble, on la chauffe vers 40 50° avec une dissolution très faible de potasse pure, c façon à ne dissoudre que la silice contenue sans attaqu l'argile.

On lave le nouveau résidu par décantation d'abor sur le filtre ensuite, on sèche, calcine et pèse. La diffé rence de poids donne celui *de la silice* qui a été sépar dans l'attaque par l'acide azotique.

Ce nombre par lui-même n'a pas de valeur propr il ne peut servir que d'indice de comparaison entre plu sieurs calcaires pour établir l'état de mélange ou de di vision plus ou moins intime du calcaire et de l'argile.

La partie insoluble dans la dissolution de potasse re ferme les sables et l'argile inattaquée. Comme on con naît déjà la proportion du gros sable, on en déduit ce du *sable fin et de l'argile*.

En fondant ce mélange des sables et d'argile avec parties de carbonate de soude, au creuset de platine, peut en traitant par l'acide chlorhydrique, doser *la sil et l'alumine* séparément. Faisant une hypothèse sur constitution probable de l'argile, on arrive à pouvo établir les proportions de :

Gros sable,
Sable fin,
Silice, } Argile.
Alumine, }

On prend ensuite la dissolution faite dans l'acide azotique ; on évapore à sec en chauffant pour décomposer les azotates d'alumine et de fer. Si on traite le résidu par une dissolution saturée d'azotate d'ammoniaque, on dissout la chaux et la magnésie et laisse insolubles *l'argile et l'oxyde de fer* qu'on calcine et pèse ensemble.

Si on veut en obtenir le poids séparément, on attaque par l'acide chlorhydrique qui les dissout, et précipite le fer seul par l'hydrogène sulfuré, en présence de l'ammoniaque. Ce précipité de fer lavé, séché, calciné, permet de calculer le poids de *l'oxyde de fer*. Celui de l'argile s'obtient par différence.

Dans la dissolution d'azotate d'ammoniaque, on a la chaux et la magnésie.

La chaux est dosée la première de la façon suivante : On ajoute de l'ammoniaque et de l'oxalate d'ammoniaque en excès, en chauffant vers 60° au plus pendant 24 heures.

La chaux précipite à l'état d'oxalate ; on lave avec de l'eau ammoniacale, puis avec de l'eau pure. On sèche à 100°, on sépare le précipité du filtre qu'on brûle dans une capsule de platine, on réunit les cendres au précipité et on transforme par calcination l'oxalate en carbonate que l'on pèse, et qui permet de calculer le poids de chaux.

Quant à la *magnésie* restée dans la liqueur ammoniacale, il suffit, pour la doser, d'évaporer lentement la liqueur, puis de chauffer peu à peu jusqu'au rouge sombre, pour décomposer l'azotate de magnésie, et obtenir la magnésie seule que l'on pèse directement.

Lorsque le calcaire est bitumineux, les opérations précédentes doivent être modifiées. Il faut d'abord griller le calcaire sous le moufle, doser le sulfate de chaux, en opérant lentement, avec précaution, pour chasser toutes les matières organiques, griller le soufre des pyrites et cependant expulser le moins possible d'acide carbonique.

On voit que le résultat de l'analyse donnera une proportion de sulfate de chaux qui ne correspond pas à celle qui existe naturellement dans le calcaire, mais qui cependant est tout aussi utile à connaître, puisque c'est celle qui existera réellement dans la chaux produite.

On traite le produit du grillage par l'eau et on dose le sulfate de chaux, avec cette précaution de doser séparément la chaux, afin d'avoir la partie qui était restée libre après le grillage.

La partie insoluble dans l'eau est traitée par l'acide azotique, et on opère exactement comme pour les calcaires non bitumineux.

Analyse chimique des produits de la calcination des calcaires.

29. Bien que jusqu'ici nous n'ayons pas encore parlé des matériaux qu'on confectionne avec la chaux ou les divers produits de la calcination des calcaires, nous continuerons ce chapitre d'analyse par la description des procédés d'analyse des chaux diverses, des ciments, pouzzolanes, et enfin des mortiers confectionnés avec eux.

Nous aurons plus tard, lors de l'étude des propriétés de ces différents matériaux, l'occasion de montrer combien il est indispensable au constructeur de pouvoir non seulement apprécier le calcaire qu'il soumet à la cuisson, mais de pouvoir se rendre un compte aussi exact du produit qu'il en retire.

Et comme dans beaucoup de cas, il devra arriver à un produit déterminé, il doit pouvoir se rendre compte des transformations qui s'opèrent dans le cours de son travail, afin d'apporter dès le point de départ les modifications qui devront le conduire au but qu'il se propose. Cela sera rendu évident lors de l'étude des ciments.

Chaux hydrauliques, ciments.

30. Le but le plus important qu'on doit se proposer dans l'analyse des chaux hydrauliques et des ciments, c'est surtout de déterminer l'état chimique des corps contenus, soit à la sortie du four, soit à la sortie des magasins où on les conserve un certain temps avant de les employer.

Il faut évaluer:

L'eau absorbée depuis que les fragments calcaires ont été soumis dans le four au maximum de chaleur.

Le carbonate de chaux non décomposé ou qui s'est reformé à l'air.

La chaux à l'état libre ainsi que la magnésie.

La silice, l'alumine, la magnésie et la chaux qui forment par leurs combinaisons les éléments capables de s'hydrater.

Les substances inertes qui sont restées, oxyde de fer, sable, argile.

Pour les ciments en particulier, il faudrait pouvoir évaluer la proportion de silicate multiple qui s'est formé et celle du sulfate de chaux.

Les opérations sont analogues à celles que nous avons décrites en détail pour l'analyse du calcaire, nous ne ferons que les mentionner.

1° Calcination au rouge vif, donnant l'eau et l'acide carbonique.

2° Dosage de l'acide carbonique seul.

3° Dosage du sulfate de chaux et chaux hydratée. — Il y a un peu d'incertitude parce qu'à la chaux libre réelle vient s'ajouter dans le résultat trouvé un peu de chaux de l'aluminate.

4° Traitement par l'acide azotique, la liqueur donne l'oxyde de fer, l'alumine, la chaux et la magnésie. La partie insoluble contient la silice, les silicates insolu-

bles, le sable et quelquefois de l'argile, on opère comme nous l'avons déjà fait.

Une fois ces divers résultats obtenus, il faut les coordonner, et en particulier déduire le poids total de chaux, d'où l'on déduit :

1° Les fractions à l'état de sulfate et carbonate, d'après les nombres trouvés pour les acides correspondants.

2° La partie de la chaux soluble dans l'eau, considérée comme existant à l'état d'hydrate. Le reste est considéré comme combiné avec la silice et l'alumine.

Lorsqu'on aura à analyser des chaux ou des ciments qui ont fait prise, on suit la même marche, seulement il faut exactement doser l'eau hygrométrique afin de pouvoir calculer l'eau contenue avec les sels de chaux.

Pouzzolanes.

31. Il est à peu près impossible de donner une méthode générale d'analyse des pouzzolanes, il faut seulement chercher, en faisant agir sur différentes pouzzolanes un même réactif dans un degré de concentration constant, comme l'acide azotique ou une solution de potasse, à établir par la décomposition des silicates une sorte d'échelle de comparaison entre ces diverses matières.

Lorsque l'on veut étudier par l'analyse les propriétés de diverses argiles, utilisées comme pouzzolanes, il faut opérer comme nous venons de le dire pour les matières destinées à faire des chaux et des ciments; analyser ces argiles, puis les soumettre à de nouvelles analyses après leur cuisson, afin de connaître les transformations qu'elles ont pu subir.

Mortiers.

32. L'analyse des mortiers a pour but de reconnaître la nature et la proportion des produits hydratés insolubles,

auxquels ils doivent leur solidité, constater les actions chimiques produites ou à produire; se rendre compte des décompositions et de leurs causes.

La dernière partie de cette étude est difficile et ne peut être faite que si l'on a pu réunir à propos du mortier tous les renseignements, tant au sujet de leur confection, que sur la nature des matériaux qui y sont entrés à l'origine, et sur le régime dans lequel ils ont été placés, etc.; conditions quelquefois difficiles à remplir, et qui doivent être accompagnées chez l'opérateur d'une grande sagacité et d'une longue pratique.

Il faut toujours avoir le soin de conserver les échantillons de mortiers immergés, bien à l'abri du contact de l'air, jusqu'au moment où on les soumet à l'analyse. On détermine l'eau hygrométrique, puis l'eau de combinaison et l'acide carbonique.

La chaux soluble, l'acide sulfurique et les sels alcalins sont évalués en deux opérations. Dans la première, on cherche à l'aide de peu d'eau à dissoudre l'hydrate de chaux seulement. Dans la seconde, opérant avec l'eau en grand excès, on dissout l'hydrate de chaux, le sulfate, la chaux de l'aluminate et les sels marins.

Puis on opère comme nous l'avons déjà fait pour doser la chaux, la magnésie, la soude, les acides sulfurique et chlorhydrique.

En comparant les résultats de ces deux opérations avec la composition connue de l'eau de mer, on arrive à établir d'une façon suffisamment approximative la composition du mortier immergé.

En comparant ces éléments à ceux du mortier avant son immersion, on arrive d'une façon approximative à déduire les effets qui se sont produits pendant l'immersion, et les conditions de durée que peut offrir ce mortier. Mais là, comme nous le disions au commencement, l'expérience et la sagacité de l'opérateur ont une part considérable dans les déductions qu'il déterminera.

Analyse chimique des pierres en général.

33. L'analyse des pierres calcaires en général et qui, lorsqu'elles ne sont pas destinées à la fabrication de la chaux ou du plâtre, sont employées comme matériaux de construction, se fait rarement au laboratoire.

Les qualités physiques, les conditions d'exploitation, sont beaucoup plutôt les éléments que l'on considère que la composition chimique de la pierre en elle-même.

Le seul intérêt pratique que présenterait cette étude serait la comparaison entre les propriétés physiques et la composition chimique, pour une série de pierres données.

34. D'ailleurs cette opération n'offre pas de grandes difficultés, et étant donné que ces matériaux sont des carbonates ou silicates de chaux et de magnésie contenant des sables, de l'oxyde de fer, de l'argile, on voit qu'en se reportant à ce que nous avons dit pour les calcaires à chaux, les chaux et les ciments, on trouvera tous les renseignements nécessaires pour une pareille opération.

35. En premier lieu on concasse en gros grains un échantillon de calcaire, on le traite par l'acide azotique étendu, on lave le résidu, le filtre, on sèche et on pèse. Puis on l'examine à la loupe pour y reconnaître la nature du sable contenu.

Les éléments en présence desquels on se trouve sont les suivants :

Carbonate de chaux et de magnésie, rarement de baryte, de strontiane, de protoxyde de fer et de manganèse; des oxydes hydratés de fer et de manganèse; de l'argile avec des matières bitumineuses quelquefois, et en même temps des mouches de pyrite, du quarz, du sulfate de chaux, de baryte, du phosphate de chaux et d'alumine, de l'eau hygrométrique, et de l'eau combinée avec divers de ces éléments.

36. Le sulfate de chaux se dosera comme nous l'avons déjà indiqué par l'action prolongée de l'eau sur 10 ou 15 grammes de calcaire parfaitement porphyrisé.

L'eau, l'acide carbonique, les matières bitumineuses s'évaluent ensemble par une calcination.

Généralement il n'y a pas d'intérêt à doser séparément l'acide carbonique, d'ailleurs nous avons indiqué à plusieurs reprises le procédé à suivre.

On peut assez approximativement se rendre compte de la proportion des matières organiques, et de leur teneur en carbone et en hydrogène en les brûlant par l'oxyde de cuivre dans un tube de verre et recueillant l'eau produite et l'acide carbonique.

D'ailleurs ces opérations compliquées donnant toujours des résultats un peu confondus qu'il faut coordonner et distinguer, ne peuvent conduire qu'à des conclusions approximatives, et il est rare que l'on pousse l'analyse dans ces détails.

37. L'évaluation des proportions de phosphate de chaux et d'alumine est encore soumise aux mêmes incertitudes. Le plus souvent on se contente d'une analyse qualitative pour constater sa présence plus ou moins appréciable.

Autrement on traite à deux reprises par l'acide azotique, on ajoute à la liqueur de l'acide sulfurique en faible excès, et on évapore jusqu'à consistance sirupeuse ou mieux jusqu'à ce que les premières vapeurs d'acide sulfurique viennent apprendre qu'on a chassé l'acide azotique.

On ajoute alors un peu de sulfate d'ammoniaque, laisse refroidir et ajoute de l'alcool, laissant ensuite en repos vingt-quatre heures.

La liqueur contient l'acide phosphorique ; et le précipité, les bases à l'état de sulfate ; la liqueur est étendue d'eau, soumise à une douce chaleur pour en chasser l'alcool, et l'acide phosphorique est précipité à l'état de

phosphate de magnésie par le sulfate de magnésie ammoniacal. Ce précipité est lavé, séché et pesé.

Quant aux précipités de sulfate de chaux et d'alumine, on pourra facilement y doser les bases comme nous l'avons déjà indiqué. On les chauffe avec du carbonate de soude, et les traite par l'acide azotique à deux reprises, chauffant jusqu'à 180° entre les deux actions, on reprend par une dissolution saturée d'azotate d'ammoniaque et on obtient une liqueur contenant la chaux ; l'alumine et l'oxyde de fer sont restés insolubles.

38. En attaquant quelques grammes de calcaire par l'acide azotique étendu, évaporant à sec et reprenant par l'acide azotique, on obtient d'une part en précipité, le quarz, la baryte et la strontiane ; et dans la liqueur la chaux, la magnésie et les oxydes de fer et de manganèse, que l'on dosera comme nous l'avons indiqué paragraphe 28.

Les nombres donnés par ces diverses opérations ne permettent pas d'établir un tableau qui puisse être regardé comme rigoureusement exact. Ainsi, par exemple, il y a toujours une certaine incertitude pour fixer la partie de l'oxyde de fer qui est libre, ou celle qui est unie à des acides, de même pour les proportions de carbonates divers. Mais, ainsi que nous l'avons déjà dit, l'exactitude ordinaire n'est pas aussi utile dans le cas actuel, que dans l'analyse des calcaires pour la fabrication de la chaux.

Analyse chimique de la pierre à plâtre.

39. Les bancs de gypse exploités pour la fabrication du plâtre présentent du sulfate de chaux mélangé plus ou moins intimement avec de l'argile ferrugineuse, des sables quarzeux et du carbonate de chaux.

L'analyse d'un échantillon de pierre à plâtre comporte les opérations suivantes :

1° Dessiccation à la température de 100° ou sous la

cloche de la machine pneumatique, l'échantillon pesé avant et après donnera ainsi par différence le poids d'eau hygrométrique qu'il contenait.

2° Par une calcination au rouge vif, on peut en opérant comme tout à l'heure obtenir le poids de l'eau qui était combinée avec l'argile, l'oxyde de fer, l'eau de cristallisation du sulfate, l'acide carbonique du carbonate. Cette opération est délicate à conduire, un excès de température peut amener une réaction de l'argile et une perte d'acide sulfurique; si au contraire on ne chauffe pas assez, on peut craindre de ne pas expulser entièrement l'eau et l'acide carbonique.

40. On dose séparément ensuite la quantité *d'acide carbonique*, pour cela on traite 2 à 3 grammes de l'échantillon par l'acide chlorhydrique, comme si on voulait préparer ce gaz, et on le reçoit dans une dissolution ammoniacale de chlorure de barium. Le précipité recueilli, lavé et séché donne le moyen de calculer la quantité d'acide carbonique contenue dans le gypse analysé.

De la comparaison de ce poids, avec celui obtenu dans la seconde opération on peut déduire les poids séparés d'eau combinée et d'acide carbonique.

41. On peut doser exactement la quantité de sulfate de chaux contenue dans l'échantillon en le dissolvant dans l'eau, et le résidu obtenu peut servir à doser les matières étrangères contenues. Pour cela on prend une fiole de 3 litres de capacité remplie d'eau, on y met 2 grammes du gypse parfaitement porphyrisé, on laisse en présence deux jours en agitant fréquemment; quand la partie non dissoute est bien rassemblée au fond de la fiole, on décante le liquide; on remplit d'eau et ainsi de même deux fois. Après on peut considérer tout le sulfate comme dissous.

On filtre, lave à l'eau froide le résidu et on sèche sur le filtre.

Toutes les liqueurs décantées sont réunies aux eaux

de lavage, leur volume mesuré, et sur une partie reconnue on précipite l'acide sulfurique contenu par le chlorure de baryum. Le précipité recueilli, lavé et séché donne par son poids celui de l'acide sulfurique contenu, dont on peut calculer facilement la proportion pour l'échantillon soumis à l'analyse. On peut d'ailleurs contrôler le résultat. Pour cela il n'y a qu'à prendre l'autre proportion des liqueurs décantées, l'évaporer à sec, chauffer le résidu au rouge sombre, puis le peser; on doit avoir un poids de sulfate de chaux déjà établi, à moins qu'il n'y ait un autre sel soluble dans l'échantillon.

42. La matière que l'eau n'a pas dissoute dans l'opération précédente et qui a été recueillie sur le filtre, contient les substances étrangères, argile, sable quarzeux, oxyde de fer, carbonate de chaux et peut-être des sulfates de baryte et strontiane. On la sépare du filtre que l'on brûle ensuite dans une capsule, on réunit la matière recueillie avec les cendres, et on traite le tout par l'acide chlorhydrique très-étendu. Le but qu'on se propose est de dissoudre l'oxyde de fer et le carbonate de chaux sans attaquer l'argile; résultat difficile à obtenir, et si l'on s'aperçoit de l'insuccès par la présence de quelques flocons de silice gélatineuse, on recommence l'opération.

43. Admettons que l'argile n'ait pas été attaquée. La liqueur chlorhydrique contient l'oxyde de fer et la chaux; la partie non attaquée, le quarz, l'argile et les sulfates s'il y en a.

On précipite le fer dans la liqueur au moyen d'un courant d'hydrogène sulfuré en saturant peu à peu l'acide par l'ammoniaque.

Le sulfure de fer ainsi obtenu, est filtré, lavé, calciné au rouge sombre à l'air et donne ainsi par son poids celui du peroxyde contenu dans l'échantillon.

Quant à la chaux, elle est restée dissoute dans la liqueur, on opère comme nous l'avons déjà dit à propos de l'analyse des calcaires. On la précipite par l'oxalate d'ammoniaque, et on la dose à l'état de sulfate.

44. Si on n'a pas pu traiter le résidu par l'acide chlorhydrique sans attaquer l'argile, voici comment on opère : On traite une nouvelle partie du minéral par l'eau, ensuite par l'acide azotique, on évapore à sec et on reprend par l'acide azotique.

La liqueur ainsi obtenue, contient l'oxyde de fer, une partie de l'alumine et de la chaux. En l'évaporant à sec, chauffant environ à 180°, traitant le résidu ainsi obtenu par une solution saturée d'azotate d'ammoniaque chauffée à 100°, on obtient une solution de la chaux ; l'alumine et de l'oxyde de fer restent insolubles. On recueille le résidu, le lave, le sèche et le pèse.

Pour compléter cette analyse, il faudrait séparer les sulfates de baryte et de strontiane de l'argile et du sable quarzeux. Mais outre qu'ils n'existent pas toujours, ils ne se montrent qu'en très-petite quantité, et comme ils agissent complètement comme matières inertes, on ne pousse ordinairement pas plus loin l'opération.

Ainsi étant donné un échantillon de poids déterminé :

On dose, 1° l'eau hygrométrique ;

2° L'eau de combinaison et l'acide carbonique ;

3° L'acide carbonique seul ;

4° L'acide sulfurique d'où le sulfate de chaux ;

5° L'oxyde de fer et la chaux du carbonate ou l'oxyde de fer mélangé d'un peu d'alumine et la chaux ;

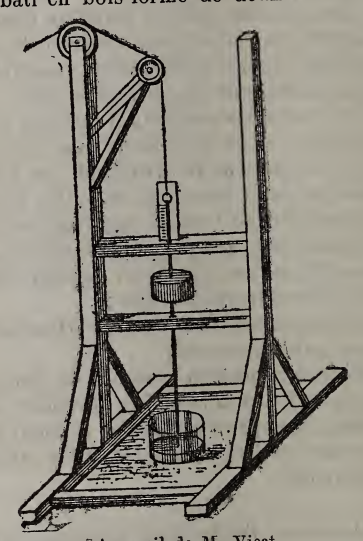
6° Par différence l'argile, le sable et les sulfates de baryte ou strontiane.

Moyen de mesurer l'hydraulicité des chaux et ciments.

On pétrit la chaux vive avec très-peu d'eau, de manière à lui donner la consistance d'une pâte forte, dont on forme une boule de 4 à 5 centimètres de diamètre. On met cette boule dans un verre, puis on frappe le fond du verre dans la main à plusieurs reprises, de manière que la boule s'affaisse un peu et perde sa forme ronde, alors on la recouvre d'eau pure.

Pour mesurer le laps de temps nécessaire à la prise d'une chaux en pâte immergée dans un verre, et constater le degré de rapidité de son durcissement, on se sert de la tige Vicat.

Cet appareil consacré par la pratique, et dont les résultats servent universellement d'indices pour les qualités de prise, et que représente la figure ci-contre, se compose d'un bâti en bois formé de deux montants réunis



Appareil de M. Vicat
pour essayer l'hydraulicité des chaux et ciments.

par deux traverses, entre lesquelles on soulève une aiguille d'acier de 0m,0012 de diamètre et chargée d'u[n] culot en plomb. Cette tige pèse 0k,9961. On dispose l[e] verre au-dessous de l'aiguille, et la soulevant à l'aide d[e] la corde on la laisse tomber sur la pâte, et on mesur[e] l'enfoncement produit par le glissement de la tige su[r] une tige graduée.

Si la chaux est hydraulique, elle doit faire prise en huit à dix jours au plus; quand elle est très-hydraulique, on ne pourrait y enfoncer le doigt au bout de vingt-quatre heures.

Les ciments à prise rapide, supportent la tige Vicat au bout de cinq minutes, sans qu'elle y pénètre.

CHAPITRE II.

Fabrication de la chaux.

On sait que la fabrication de la chaux consiste à soumettre le carbonate de chaux à l'action d'une température rouge, pour en expulser l'acide carbonique et obtenir de la chaux vive.

Au point de vue général, rien de plus simple que cette opération; mais, pour l'industrie, qui doit chercher à en tirer un bénéfice, elle demande des soins particuliers, qui constituent l'art du chaufournier, et que nous allons étudier.

Choix de la pierre à chaux.

46. On ne peut pas juger à la vue, comme il a été dit, les qualités d'une pierre, relativement à celles de la haux qu'elle fournira. Il ne faut s'en rapporter qu'aux nalyses chimiques et aux essais dont nous avons parlé ans le chapitre précédent.

Si toutes les matières calcaires, depuis les marbres les lus purs jusqu'à celles qui ne contiennent plus le caronate de chaux qu'en certaines proportions, peuvent roduire de la chaux en expulsant, par la calcination, eau et l'acide carbonique qu'elles renferment, il n'en ut pas moins tenir compte des proportions et de la nare des matières étrangères qui accompagnent le carbote de chaux, pour savoir si on aura de la chaux grasse, la chaux maigre, ou de la chaux hydraulique.

Plus les calcaires sont exempts de matières étrangères

et plus la chaux qu'ils produisent est grasse. La chaux grasse est ordinairement très-blanche, elle foisonne beaucoup par l'extinction, jusqu'à trois fois et demie son volume, elle se réduit facilement en poudre, et, par l'addition d'un peu d'eau, elle forme une pâte très-liante.

Les calcaires qui renferment des proportions assez fortes de matières étrangères, de carbonate de magnésie et de fer, donnent des chaux maigres. Celles-ci sont grises, s'échauffent peu et augmentent moins de volume par l'extinction; elles donnent avec l'eau une pâte courte et peu liante. Quand la chaux maigre n'est pas hydraulique, elle a peu de valeur. On ne l'emploie qu'à défaut de chaux grasse.

Quant aux calcaires qui donnent de la chaux hydraulique, parce qu'ils contiennent de l'argile, il en sera longuement parlé au chapitre spécialement consacré à cette espèce de chaux. Son hydraulicité est attribuée à la silice, à l'alumine, à la magnésie. Une pierre calcaire qu contient 0,06 d'argile donne une chaux déjà sensiblemen hydraulique; lorsque l'argile s'y trouve dans la propor tion de 0,15 à 0,20, la chaux est très-hydraulique; enfi la chaux prend très-vite et doit être réputée éminemmen hydraulique, quand la pierre calcaire renferme de 0,2 à 0,30 d'argile. Ces observations sur la pierre s'appliquer également aux craies.

Pour reconnaître une pierre à chaux, on en soumet u fragment à un feu continu et actif pendant assez de tem pour que l'action du feu l'ait bien pénétrée; on plon ensuite ce fragment dans l'eau pendant 2 à 3 minutes, si c'est une pierre à chaux, elle s'échauffe, vaporise l'e en produisant un sifflement, se délite en craquant, boursouffle et augmente de volume. On peut aussi pu vériser le fragment de pierre et exposer la poudre à feu assez vif, pendant une heure, en la remuant co tamment, soit sur une plaque de métal, soit dans cornue. Après l'avoir laissée refroidir, on observe ce se passe en la mouillant.

Ces moyens ne peuvent servir que de premier aperçu. Il faut avoir soin d'éviter la vitrification, en chauffant trop le calcaire impur, et il faut observer si le calcaire qui ne s'éteindrait pas ne pourrait pas, étant pulvérisé, fournir du ciment.

Enfin on a recours à l'analyse chimique, comme il a été expliqné dans le chapitre précédent.

Préparation de la pierre à chaux avant sa cuisson.

47. La difficulté de la calcination des pierres étant ordinairement en rapport avec leur grosseur, il faut qu'elles aient de 5 à 8 centimètres de diamètre moyen. Quand elles sont plus grosses, la cuisson est difficile et coûte plus cher. Quand elles sont trop petites, il n'est plus possible de les arranger dans le four de manière à réserver entre elles les intervalles qui doivent donner passage au feu.

L'expérience a appris aux chaufourniers que l'humidité favorisait l'opération de la cuisson. Aussi préfèrent-ils la pierre nouvellement extraite de la carrière, ou arrosent-ils celle qui a été exposée très-longtemps à l'air sec. C'est la même raison qui fait qu'ils aiment mieux le bois qui n'est pas tout à fait sec, ou qu'ils mouillent fortement la houille au moment de s'en servir, et que l'opération marche plus rapidement par un temps humide que par un temps sec.

La décomposition du carbonate de chaux, c'est-à-dire l'expulsion de l'acide carbonique, commence naturellement à la surface, pour se continuer de proche en proche jusqu'au centre de la pierre. Cette opération se fera donc d'autant plus facilement que les pierres auront moins de volume ou qu'elles seront plus poreuses.

De l'arrangement de la pierre dans un four à calcination périodique à grande flamme.

48. Dans la plupart des fours à chaux, quel que soit d'ailleurs le combustible employé, on forme d'abord les foyers en disposant des pierres calcaires plates, larges et d'égale épaisseur, contre les parois intérieures du four, en forme de retraite ou de socle, comme l'indique la figure 3, pour servir de base aux pieds droits de la voûte sous laquelle on place le combustible; et, pour mieux les fixer, on les relie avec de l'argile; mais attendu qu'en raison de leur position il n'est guère possible que ces pierres puissent atteindre le degré de cuisson convenable, il est préférable de former cette retraite en briques posées de champ, fig. 10, faisant partie intégrante de la construction générale du four. Ce moyen présente plus de solidité que le premier; et nous conseillons de l'employer particulièrement dans les fours destinés à brûler de la tourbe ou du charbon.

Lorsque les pieds droits sont terminés, on procède à l'arrangement des pierres calcaires, et il doit avoir lieu ainsi qu'il suit : on commence par placer solidement, sous forme de voûte, les plus gros morceaux, les uns à côté des autres par tranches ou chaînes, et en les dirigeant vers le centre de la voûte comme des claveaux ou voussoirs, fig. 2 et 3. L'écartement des chaînes peut être de 55 à 80 millimètres de largeur, et a pour but, de même que les interstices que l'on peut aussi réserver entre les points de contact des voussoirs, de laisser assez de jour pour livrer à la flamme des passages faciles, afin qu'elle puisse s'élever, se disperser et porter le degré de chaleur convenable sur toutes les surfaces des pierres à convertir en chaux.

On peut encore former la voûte, par chaînes de pierres longues et plates, en saillie les unes sur les autres et posées horizontalement. Cette méthode est observée dans les

environs de Metz et dans quelques autres endroits. Elle est même préférable à la première, mais seulement à cause de la facilité avec laquelle le travail peut s'exécuter; car les pierres calcaires pouvant laisser entre elles de nombreux interstices, qui sont autant de passages par lesquels la flamme peut s'introduire pour gagner les parties supérieures du four, présentent, sous ce rapport, un peu plus d'avantage. Mais, de toute manière, la voûte doit être établie sur des cintres que l'on retire après son entier achèvement; et les chaînes doivent être maintenues en équilibre par des pierres en coin disposées à cet effet.

Cette voûte est destinée à supporter toute la charge des pierres que l'on veut soumettre à la calcination, et on les y superpose de manière à ce qu'elles aillent en diminuant de volume au fur et à mesure qu'elles s'élèvent ou se rapprochent des parois latérales, et à ce qu'elles offrent le plus possible de surface au contact de la flamme, tout en laissant aussi beaucoup de jour entre elles, ce qu'on obtiendra facilement en les plaçant sur les angles, les unes contre les autres. Enfin, l'on réserve les plus petits morceaux pour le *garni* et pour remplir la partie supérieure du gueulard, que l'on recouvre aussi avec des petits morceaux jusqu'à 65 centimètres de hauteur. L'ensemble de cette disposition a pour objet de faciliter la calcination des plus grosses pierres qui, se trouvant ainsi rassemblées près des points où le degré de température est toujours le plus élevé, reçoivent une action assez forte pour être amenées à l'état de chaux en même temps que les morceaux de moindre grosseur. Si les petites pierres se trouvaient mêlées avec les plus grosses, elles seraient bientôt sur-calcinées, parce que leur cuisson exige un degré de chaleur moins élevé et moins continu que les premières. Il faut aussi que les interstices soient ménagés avec art et beaucoup d'attention, quel que soit d'ailleurs le mode de calcination; car sans cela toutes les parties d'une même charge ne seraient point également chauffées : ce qui pourrait influer, non-seulement sur

l'économie du combustible, mais encore sur la qualité de la chaux.

Quelques chaufourniers, principalement ceux de la Champagne, de Sedan, de Mézières et de la Lorraine, sont dans l'habitude de placer parmi les pierres qu'ils soumettent à la calcination des pièces de bois verticales ou inclinées (fig. 3, 4 et 5), afin de former après leur combustion des cheminées qui, selon eux, doivent faciliter la circulation de l'air et de la chaleur. Il est vrai que par ce moyen l'air et la chaleur doivent mieux circuler, mais nous sommes loin de croire qu'il puisse en résulter un grand avantage pour la bonne qualité de la chaux ; il nous semble, du moins, que les vides en question, établissant des courants d'air plus actifs là où les pièces étaient, peuvent détruire la répartition uniforme de la chaleur et donner lieu, par conséquent, à une cuisson inégale.

Cuisson de la pierre à chaux.

49. La grande affinité qu'il y a entre l'acide carbonique et la chaux fait que la décomposition du carbonat[e] de chaux exige une très haute température.

On a évalué que, pour obtenir la chaux, en expulsant par l'action de la chaleur, l'acide carbonique combiné [à] la chaux dans les pierres calcaires, il fallait une tempé[-]rature de 15 à 30 degrés du pyromètre de Wedgewoo[d]. On ne doit guère tenir compte de cette évaluation, q[ui] exprime un trop grand écart entre les deux points de [la] température (1).

Cuire la pierre à chaux, c'est la soumettre à l'actio[n] d'une forte chaleur, dont l'application doit être imm[é]diate, continue et non interrompue, pour l'amener à l'ét[at] de chaux vive ou chaux caustique par sa séparati[on]

(1) Le pyromètre de Wedgewood est divisé en degrés dont chac[un] vaut 72 degrés 22 (centigrades), et le zéro de ce pyromètre répond à [5...] degrés 55. Ainsi, 15° du pyromètre égalent 1668°,85 et 30° = 2752,[...]

d'avec l'acide carbonique. C'est de cette opération que nous allons nous occuper, sans parler des divers combustibles, dont il sera fait mention plus loin, et qui ne changent rien à la manière de conduire la cuisson.

Dès que les pierres sont disposées convenablement, comme il est dit plus haut, on procède à leur *échauffement*. A cet effet, on allume sous la voûte un feu peu actif (1) qu'on appelle *petit feu*, dont on ralentit encore s'il le faut, l'action par du poussier, et on l'entretient dans cet état pendant dix à douze heures, mais en l'alimentant avec le combustible dont on veut faire usage, et de manière à lui faire produire le plus possible de fumée, afin de laisser à celle-ci le temps nécessaire pour échauffer, par degrés, toutes les pierres avant qu'elles ne ressentent le contact de la flamme. Cette préparation, que l'on nomme vulgairement le *fumage*, est assez importante en elle-même, surtout dans les fours chauffés par la tourbe, où il se dégage beaucoup de fumée. Si l'on chauffait trop brusquement, la pierre pourrait éclater avant sa *cuisson*, et les fragments qui en résulteraient obstrueraient les interstices, et la chaleur, ne pouvant plus circuler dans toutes les parties du four, produirait en certains endroits de nombreux *biscuits*, indépendamment des inconvénients que cette expansion pourrait occasionner en déterminant la chute des chaînes de la voûte, et par suite l'affaissement de toute la masse qu'elle supporte.

Lorsque la pierre est suffisamment échauffée, soit par l'effet d'une chaleur douce et bien conduite, soit par celui du fumage, on augmente graduellement le feu jusqu'à ce que le tiers environ de la masse soit parvenu au rouge-blanc.

Dans ce moment la flamme a de la peine à s'élever jusqu'au gueulard du four, où elle doit arriver pour calciner les pierres logées dans la partie supérieure de la

(1) Il s'agit ici d'un four à calcination périodique à grande flamme.

masse. Elle est fortement repoussée en sens contraire et sortirait par le foyer, si l'on n'avait le soin de s'y opposer en en bouchant l'ouverture au moyen d'une porte en fonte ou d'une plaque en tôle. Cette action, que les chaufourniers appellent le *rebutage*, a principalement lieu avec les fours dont le gueulard est petit.

Après le rebutage, la flamme prend son cours et ne tarde pas à gagner peu à peu les parties supérieures.

Dès ce moment, on doit augmenter le feu et le soutenir d'une manière à peu près égale, jusqu'à ce que la cuisson soit complète, sans quoi la fournée peut être entièrement manquée.

Il n'est guère possible de donner des règles absolues sur la conduite du feu, qui doit nécessairement varier en raison de la forme des fours, et surtout suivant la dureté de la pierre, la nature et la quantité de combustible. Toutefois, pour fixer autant que possible les idées à cet égard, nous citerons ici un exemple : Dans les fours de la Lorraine, on brûle une corde de bois (2 stères 740) le premier jour pour former ce qu'on appelle vulgairement l'*embrasement*, c'est-à-dire pour échauffer lentement la pierre. Le second jour on brûle six cordes de bois pour augmenter le feu. On entretient la température avec cinq cordes de bois le troisième jour, quatre cordes le quatrième, et une corde le cinquième. Ce qui fait, en tout, dix-sept cordes (46 stères 586) pour environ 43 mètres de chaux.

On laisse refroidir le four vingt-quatre ou quarante-huit heures avant de retirer les pierres.

Dans la manière de cuire la pierre à chaux dont il vient d'être parlé, il semble évident qu'il y a une perte de combustible par le ralentissement du chauffage. On croirait qu'il vaudrait mieux aller toujours en augmentant pour déterminer la séparation des dernières portions d'acide carbonique qui se trouvent au centre du carbonate de chaux, qui est l'endroit le plus difficile à échauffer. Mais, en y réfléchissant, on s'aperçoit qu'il vaut

mieux, sauf la perte de combustible, procéder moins rapidement, et cela pour ne pas tomber dans un autre inconvénient très-grand qui serait celui de fritter et de vitrifier la chaux déjà faite à la superficie quand le calcaire n'est pas entièrement pur, ce qui est le cas le plus ordinaire. Il n'y aurait que les calcaires d'une pureté parfaite, comme les marbres, qui pourraient supporter une chaleur toujours croissante. Mais on peut atténuer cette perte de combustible, en observant de placer les plus grosses pierres vers les points où la chaleur agit le plus immédiatement, c'est-à-dire dans la partie inférieure du four et vers le centre de la masse.

Pour obvier à cet inconvénient, on a proposé un four à deux foyers, dont il est parlé dans le chapitre suivant.

50. Si le carbonate de chaux peut, comme il est dit plusieurs fois dans cet ouvrage, être fortement chauffé sans inconvénient, quand il est pur ; s'il peut même être soumis à la température la plus élevée, aussi longtemps que l'on voudra, sans subir de changement, puisque la chaux ne fond pas aux températures les plus élevées que nous puissions produire dans nos fourneaux, et n'éprouve un commencement de fusion qu'au chalumeau alimenté par un mélange d'hydrogène et d'oxygène ; il n'en est plus de même dès qu'il contient des matières étrangères. C'est ce qu'il faut bien comprendre.

Quand on fait cuire un calcaire impur, contenant des matières étrangères, et qui doit produire de la chaux maigre, de la chaux hydraulique ou du ciment, on ne peut pas lui faire subir impunément une chaleur trop forte. Nous allons en voir la raison.

Bien que la silice, l'alumine et la chaux soient trois substances qui résistent, aussi bien l'une que l'autre, à toute espèce de température sans changer d'état, si l'on réunit ces trois substances en proportions égales, et si l'on soumet le mélange à la chaleur rouge, on obtient du *verre*.

C'est ce que l'on sait bien dans le traitement des minerais, où les différentes substances qui forment la gangue

doivent entrer en fusion à l'aide de fondants convenables, et former ainsi le *laitier*. Lorsque la gangue d'un minerai est argileuse, on y ajoute, pour la faire entrer en fusion, une certaine quantité de carbonate de chaux que les ouvriers appellent *castine*, et qui forme avec la silice un silicate d'alumine et de chaux fusible à la température élevée du haut fourneau. Si la gangue est calcaire, on mélange le minerai avec une matière siliceuse que l'on nomme *erbue*. Mais le plus souvent on mélange en proportion convenable le minerai calcaire avec un minerai siliceux.

Or, l'argile est formée de silice associée, par voie de simple mélange, à des quantités variables d'alumine, de carbonate de magnésie, d'oxyde de fer et de manganèse, etc.

Et, comme c'est à la présence de l'argile que les chaux hydrauliques et les ciments doivent leurs propriétés, on conçoit qu'il y ait du danger à exposer les calcaires qui les produisent à une température assez élevée pour les scorifier, et, par là, rendre la chaux impropre à aucun usage.

51. Il nous reste à parler des *refroidissements accidentels* d'une fournée durant la calcination, qui peuvent contrarier l'opération et même la compromettre si on n'y apporte aucun remède.

Il faut éviter qu'un refroidissement partiel n'ait lieu après le *rebutage* : un coup d'air suffit pour abaisser sensiblement la température et faire noircir les pierres déjà rougies, ce qui est nuisible à une bonne fabrication.

Toutefois, un fournée qu'on aurait laissée refroidir, mais d'une manière uniforme, avant sa calcination complète, peut encore être réchauffée sans inconvénient. Pour prouver la confiance qu'on peut avoir en cette assertion, voici le résultat d'une expérience que Hassenfratz a faite et dont il a lui-même rendu compte : « Nous avons pris, dit-il, un morceau de pierre à chaux

Château-Landon, nous l'avons pesé et nous l'avons placé dans le feu de notre cabinet. Après huit heures de calcination, nous l'avons pesé de nouveau, il avait perdu 0,24 de son poids primitif. Ce morceau a été remis au feu le lendemain ; après huit heures de calcination, il avait perdu 0,11 de son poids, ou 0,35 de son poids primitif. Remis une troisième fois au feu après avoir été refroidi, nous avons observé qu'il avait perdu au bout de huit heures, 0,05 de son poids, ou 0,40 de son poids primitif. Enfin après huit heures d'une quatrième calcination, le même morceau avait perdu 0,04 de son poids ou 0,44 de son poids primitif. La pierre s'est trouvée réduite à l'état de chaux parfaite ; sa densité était de 1,666 et celle de la pierre, avant la calcination, était de 2,675. »

Ce résultat ne laisse aucun doute sur la possibilité d'amener à l'état de chaux, au moyen d'une nouvelle cuisson, la pierre qui n'aurait été qu'imparfaitement calcinée. C'est, du reste, ce qu'on voit journellement quand on retire du four les pierres qui ne sont pas assez cuites : on les met de côté pour une autre fournée, et il suffit de les placer ensuite dans la partie supérieure du four, pour les amener à l'état de chaux parfaite. Mais, à moins que les circonstances n'y forcent, il vaut toujours mieux, par rapport à la dépense de combustible, cuire une fournée d'une seule fois.

Les pluies, les grands vents, les orages peuvent amener les mêmes résultats ou retarder la cuisson. On remédie à ces inconvénients, soit en couvrant les fours par une voûte, soit en les établissant sous des abris peu dispendieux, tels que des hangars, des appentis, mais disposés de manière à laisser à l'air atmosphérique toute la circulation convenable. On peut aussi rompre les courants d'air, en élevant des murs soit en pierres, soit en planches ou des haies sèches (fig. 3), devant la gueule du four, et même sur tout son parcours. Il faut surtout avoir soin de fermer cette ouverture par une forte porte

en tôle ou en fonte légère, en y laissant toutefois un passage suffisant pour l'introduction de l'air nécessaire à la combustion. Au reste, on doit éviter, autant que possible, de cuire la chaux pendant la mauvaise saison; cela est d'autant plus facile que les travaux sont alors presque généralement suspendus.

Nonobstant ce qui est dit plus haut de la possibilité de cuire la chaux à plusieurs reprises, il ne faut pas perdre de vue que MM. Vicat et Minard ont observé quelque chose qui ne s'accorde pas avec cette manière de voir : c'est que les fragments de chaux morte recalcinés, de même que toutes les pierres à chaux grasse imparfaitement calcinées, sont dans un état particulier, qui n'est ni celui de la chaux, ni celui du carbonate de chaux, et fournissent, après avoir été broyés et gâchés, une pâte qui fait prise sous l'eau. C'est ce qu'on voit plus en détail dans le chapitre qui traite des matières hydrauliques.

Du reste, il n'y a pas très-longtemps qu'on admet qu'on puisse impunément laisser refroidir un four à chaux. On cite même à ce sujet que Bernard Palissy, passant par les Ardennes, trouva sur son chemin un four à chaux dont l'ouvrier s'était endormi quand la calcination n'était qu'à moitié faite, et comme en se réveillant il travaillait à rallumer le four, Bernard Palissy lui aurait dit qu'il brûlerait toute la forêt des Ardennes avant de mettre en chaux la pierre à demi-calcinée. Mais ce n'est là qu'une vieille tradition, tombée aujourd'hui en désuétude, comme tant d'autres du même genre.

Il a déjà été dit, que la cuisson de la chaux était extrêmement facilitée par la présence de la vapeur d'eau, et que l'opération marchait plus rapidement par un temps humide que par un temps sec. Il en est de même d'un courant d'air très-vif.

52. De plus, il résulte des expériences de MM. Gay-Lussac et Faraday, que le carbonate de chaux n'est nullement décomposé par l'action de la chaleur dans une atmosphère d'acide carbonique pur; c'est pour cette

raison qu'il est difficile de ramener la chaux carbonatée à l'état caustique (chaux vive) en la calcinant dans des creusets. Ce qui confirme l'opinion qu'il faut un fort courant d'air.

Appréciations de la température d'un four.

53. Il n'est guère usité de se rendre compte de la température de l'intérieur d'un four à chaux. Nous allons cependant dire quelques mots sur les moyens qui peuvent servir à s'en rendre compte, dans certaines circonstances.

Le tableau suivant, dû à M. Pouillet, donne des approximations très-rapprochées des degrés de chaleur :

Couleurs du platine.	Températures.
Rouge naissant.	525
Rouge sombre.	700
Cerise naissant.	800
Cerise.	900
Cerise clair.	1000
Orangé foncé.	1100
Orangé clair..	1200
Blanc.	1300
Blanc soudant..	1400
Blanc éblouissant..	1500

Pyromètres. — Pour apprécier les hautes températures, on se sert d'un instrument nommé pyromètre. Celui de Wedgewood est assez souvent appliqué dans les fabriques de poteries. Il se compose : 1° d'une échelle à rainure ou espèce de coulisse dont les parois forment entre elles un angle très-aigu, et sur lesquelles sont marquées les divisions ou degrés qui servent à faire connaître l'intensité de la chaleur que l'on veut apprécier ou obtenir.

Comme cette échelle ne doit point être soumise à l'action de la chaleur, elle peut être faite avec un métal

quelconque. Celle que nous avons dessinée (fig. 20) est supposée en cuivre. Elle est formée par trois petites règles *a a a* fixées sur une quatrième, parce que la coulisse n'est point continue : elle est en deux parties, ce qui rend l'instrument moins long et par conséquent plus portatif.

2º D'un petit cylindre *b*, en argile, dont le diamètre est égal à la plus grande largeur de la coulisse.

3º D'un creuset, en terre cuite, dont nous indiquerons ci-après l'usage.

La construction de ce pyromètre repose sur la pro priété que possède l'argile de se retirer par la cuisson tant par la perte de l'eau qu'elle renferme, que parc qu'elle passe à un état moléculaire tout différent.

Lorsqu'il s'agit d'évaluer la température d'un four chaux, soit pour l'augmenter, soit pour la diminuer, o jette le petit cylindre dans le creuset, et l'on place l tout pour échauffer le cylindre dans l'un des interstice laissés entre les pierres calcaires. On le retire quelqu temps après, puis on l'introduit dans la coulisse de l'é chelle graduée, et l'on juge, par le point où il s'arrêt du *retrait* qu'il a éprouvé et par conséquent du degré d chaleur de l'intérieur du four.

On retranche du cylindre et parallèlement à son ax un petit segment pour qu'il puisse mieux glisser dans rainure.

On comprend que le creuset n'a d'autre but que conserver le cylindre, qui pourrait facilement se perd si on le plaçait pêle-mêle avec la chaux.

Le pyromètre que nous venons de décrire est un in trument qui ne fournit que des indications approxima ves; il en est de même de celui inventé par M. Bro gniart, qui en a fait application à la manufacture Sèvres, dont il a été directeur. Ces instruments sont l' et l'autre imparfaits.

Le pyromètre de M. Brongniart consiste en une ba de platine *a b* (fig. 25), supportée par une coulisse *m*

également en métal. L'une des extrémités de cette barre est solidement fixée sur un obstacle $x\,z$, tandis que l'autre appuie sur l'extrémité d'un levier coudé $c\,d\,c'$, mobile autour du point fixe d, et dont la branche ou aiguille $c\,d'$ doit être beaucoup plus longue que $c\,d$, par exemple dans le rapport de 100 à 1. Cette branche est placée en dehors du four et indique, sur une espèce de cadran $e\,f$, dont le centre est au point d, les changements que la barre de platine, soumise à l'action de la chaleur, a éprouvés dans sa longueur. Si, par exemple, elle se dilate d'un millimètre, elle fera marcher de cette quantité l'extrémité c du levier, et par suite celle de l'aiguille, qui, dans le cas dont il s'agit, parcourra 100 millimètres ou 1 décimètre sur le cadran divisé.

C'est-à-dire que le chemin parcouru par l'extrémité de l'aiguille exprimera toujours le déplacement de la plus petite branche, suivant le rapport qui existera entre les deux parties du levier.

Si donc l'on veut apprécier le moindre effet de la dilatation de la barre, on divisera le cadran en demi-millimètres, et le déplacement de l'aiguille, égal à l'une des divisions, transporté en quantité relative à l'extrémité c de la plus petite branche, deviendra 1/200 de millimètre, ou 1/400 de ligne, et exprimera par conséquent l'allongement de la barre soumise à l'épreuve.

Indices d'une cuisson terminée.

54. Le temps employé à la cuisson d'un calcaire n'est pas toujours le même, parce que, comme pour la conduite du feu, il peut varier suivant la dureté de la pierre, l'espèce de combustible, la température et l'état hygrométrique de l'atmosphère.

Ainsi les plus grands fours dont on fait usage en Lorraine, par exemple, exigent cinq jours et quarante stères de bois de chêne, ou quarante-huit stères de bois blanc, pour 43 mètres cubes environ de chaux.

Dans le four employé près de Mauriac, le feu ne dure que vingt-quatre heures, et l'on brûle quarante à cinquante stères de bois de châtaignier pour trente à trente-cinq mètres cubes de chaux.

Enfin, les fours de Fraissac-le-Haut sont chauffés pendant soixante-douze heures, et produisent cent mètres cubes de chaux, pour lesquels il faut cent trente-trois stères de bois.

Ces différences ne permettent guère de conclure à l'égard du temps nécessaire à la cuisson. Elles ne peuvent s'expliquer que par la plus ou moins bonne dispositior des fours ; par les dispositions du trou aspirateur et du gueulard ; enfin, par le plus ou moins de soins apporté dans l'arrangement de la pierre et dans la conduite du feu. Cependant, on est assez généralement d'accord sur ce que, employant du bois ou de la tourbe, il faut trois jours de feu.

On peut considérer la cuisson comme à peu près terminée quand on aperçoit les indices suivants :

1° Un tassement plus ou moins considérable, selon la nature de la pierre et la dimension du four, se remarqu dans toute la hauteur de la masse : il est ordinairemen d'un sixième, et il a toujours lieu peu d'heures avant l fin de l'opération, quelquefois même six heures auparavant ;

2° La flamme sort par le haut du four, presque san fumée (pendant l'opération, elle change plusieurs fois d couleur : elle est d'abord brune, puis d'un rouge fonc ensuite violette, bleue et enfin blanche) ;

3° Les pierres sont d'une belle couleur rose blanchâtr

Par suite d'une longue habitude, les ouvriers ne s trompent pas dans l'appréciation du degré de cuisson.

On peut encore s'assurer positivement de l'état de cui son où se trouve une fournée en choisissant quelques-ui des plus gros morceaux de chaux qui se trouvent en ha du four et en les éteignant. Lorsque la chaux est rédui en bouillie, l'on verse dessus quelques gouttes d'aci

nitrique ou sulfurique. S'il ne reste plus d'acide carbonique dans la chaux, il ne se fera point d'effervescence, ce qui prouvera que la calcination est complète.

Caractères auxquels on reconnaît la chaux hydraulique bien cuite.

« On reconnaît la chaux hydraulique bien cuite, dit M. Vicat, à sa légèreté, à sa consistance crayeuse et à l'effervescence qu'elle fait avec l'eau lorsqu'elle n'a pas encore été éventée. Est-elle, au contraire, lourde, compacte, vitrifiée légèrement sur les arêtes, longtemps inactive après l'immersion, on doit en conclure que le terme de la bonne cuisson a été dépassé ; fuse-t-elle superficiellement en laissant un noyau, la cuisson en est incomplète. »

« L'inaction persévérante de la pierre cuite, lorsqu'on l'immerge, peut être due encore à la présence d'une trop forte proportion d'argile. » Alors ce n'est plus une chaux et c'est peut-être un ciment.

Refroidissement de la chaux.

Lorsque la calcination est terminée, il faut éteindre le feu, et laisser diminuer graduellement la chaleur contenue dans l'intérieur du four, jusqu'à l'entier refroidissement de la chaux, que l'on peut accélérer d'ailleurs, en ouvrant la porte du foyer. Cependant il est préférable de la tenir fermée, et en outre de couvrir l'œil supérieur du four par une large pierre x (fig. 9), attendu que, par ce moyen, la chaux devient plus dure, plus compacte et moins facile à s'éteindre à l'air ; ce qui permet de la transporter à de grandes distances sans nuire beaucoup à sa qualité.

Après le refroidissement, ou dès que la chaux est devenue maniable, ce qui arrive assez généralement dans tous les fours six à huit heures après l'extinction totale

du feu, on la retire du four, en faisant crouler la voûte pour la mettre aussitôt après dans des caisses ou des tonneaux hermétiquement fermés lorsqu'il s'agit de la conserver. Mais lorsqu'on se propose de l'employer de suite, ou peu de temps après sa calcination, il suffit de la déposer provisoirement sous des hangars.

Lorsqu'on retire la chaux du four, il est convenable de placer auparavant des planches sur la grille pour la facilité du service; et, du moment où cette opération est terminée, on enlève les cendres, tandis qu'on charge de nouveau le four.

Les chaufourniers doivent avoir l'attention de ne point perdre les braises qui proviennent de la combustion; elles se mettent dans des étouffoirs.

Examen de la chaux.

56. La chaux vive, de quelque nature qu'elle soit, pou être cuite au degré convenable, doit fuser promptemen et complètement dans l'eau. Lorsqu'elle est trop forte ment calcinée, elle devient *paresseuse*, et reste plusieur heures, quelquefois même un jour ou deux, sans s'étein dre.

Pour être réputée de bonne qualité, il faut en outr qu'elle ne contienne ni biscuits, ni durillons, ni aucur partie étrangère.

La *diminution dans le poids et dans le volume de la pier à chaux après sa calcination* est d'environ 0,45 de s poids (1) primitif, et, généralement, de 0,10 à 0,20 de s volume. Mais cette dernière évaluation n'est que trè approximative, car elle dépend des différences nombre ses et particulières qui existent dans la nature des pie res, et qu'ensuite il faudrait tenir compte, dans la m

(1) Théoriquement, et d'après les équivalents chimiques, le car nate de chaux étant formé de 350 de chaux et 275 d'acide carboniq 100 de carbonate de chaux, exempt d'humidité, donnerait 56 de ch vive.

sure, de la grosseur des morceaux de calcaire et des morceaux de chaux.

La plupart des expériences qui ont été faites sur le *poids de la chaux comparé à celui du carbonate de chaux*, ont constamment indiqué qu'un décimètre cube de chaux vive pèse à peu près 810 grammes et qu'un décimètre cube de carbonate de chaux dure pèse environ 960 grammes. Mais il faut cependant dire que ces poids doivent être sujets à de grandes variations, suivant la nature du calcaire.

Distinction des chaux après la cuisson.

57. Il va sans dire que les propriétés de la chaux varient suivant la nature du calcaire dont elle provient. De plus, la qualité d'une même espèce de chaux peut ne pas être la même, suivant le degré de calcination et l'espèce de combustible dont on s'est servi. C'est du moins l'opinion qui a été exprimée par MM. Donop et Deblinne, dans un mémoire adressé à la Société d'encouragement, dont nous extrayons ce qui suit :

« Nous nous étions proposé depuis longtemps de comparer entre elles les différentes pierres calcaires calcinées dont on fait usage pour les travaux publics et dans les arts, soit chez les tanneurs et les teinturiers, soit pour la fabrication du savon.

« A cet effet, nous avons pris des pierres calcaires de diverses carrières, que nous avons fait calciner, soit avec le bois, soit avec la tourbe, soit avec le charbon de terre, et voici les conclusions générales que nous en avons tirées :

« 1° Les chaux calcinées avec le bois sont en général plus blanches ou moins colorées que celles cuites avec la tourbe et le charbon de terre;

« 2° Ces mêmes chaux, calcinées avec la tourbe, éteintes et mêlées en poids égal à un même volume d'eau, se précipitent presque toujours plus promptement que lorsqu'elles ont été calcinées avec le bois;

« 3° Enfin, la calcination opérée par le charbon de terre donne une chaux qui se précipite très-promptement, lorsque, ayant été éteinte, elle est étendue dans une certaine quantité d'eau.

» On doit conclure de là que le choix de la chaux dans les arts doit être fait avec discernement, c'est-à-dire qu'il faudra employer de préférence, dans la fabrication du savon, celle qui se tient le plus longtemps suspendue dans l'eau, et qui est calcinée avec le bois, qu'il faudrait peut-être aussi préférer celle-ci dans le tannage, le chamoisage des peaux et la teinture, à celle qui est cuite avec la tourbe; mais que celle calcinée au charbon de terre doit être exclusivement employée dans les constructions, pour la fabrication des mortiers, comme trop pesante.

» Quant aux constructions, nous avons éprouvé nous-mêmes qu'il y avait un grand avantage à n'y employer que de la chaux calcinée, soit à la tourbe, soit au charbon de terre, parce que le poussier de la chaux calcinée avec ces deux espèces de combustibles ne contient jamais de cendres alcalines comme celui de la chaux cuite avec le bois, et fait du mortier de meilleure qualité. »

(Nous aurons occasion de revenir sur ce sujet en nous occupant des combustibles qu'on emploie dans la cuisson de la chaux.)

58. Dans le commerce, on distingue les chaux en *chaux communes* et en *chaux hydrauliques.*

Les chaux communes peuvent être *grasses*, ou *moyennes*, ou *maigres*; et l'on adopte maintenant, relativement à ces dénominations, les définitions proposées par M. Vicat : il appelle chaux *grasse* celle qui, placée vive sous un grand volume d'eau, en absorbe, pour se fondre, de 2,60 à 3,60 pour 1 (ces nombres expriment des poids); chaux *moyenne*, celle qui, dans les mêmes circonstances, absorbe de 2,30 à 2,60 d'eau; *maigre*, celle qui n'en peut prendre que 1 à 2,30; et, enfin, chaux *hydrauliques*, toutes celles qui ont la propriété de prendre corps et de

durcir sous l'eau en peu de jours, sans le secours d'aucun corps étranger. Ces sortes de chaux sont très-propres aux ouvrages immergés, et donnent en général un mortier extrêmement dur, quand elles sont mêlées avec une quantité d'eau convenable.

Les chaux hydrauliques sont ordinairement maigres, rarement moyennes, et jamais grasses; mais les chaux maigres ne sont pas toujours hydrauliques. Ainsi, cet indice n'est pas suffisant. Celui qu'on peut tirer de la couleur de la chaux peut servir également, jusqu'à un certain point, à reconnaître la nature de la chaux.

Les chaux hydrauliques sont quelquefois blanches ou très-peu colorées; mais elles affectent le plus souvent une teinte grise de boue ou de brique crue, et quelquefois d'un jaune fauve. L'inverse n'a pas lieu, et les chaux colorées ne sont pas toujours hydrauliques.

Il ne faut pas que la dénomination de *chaux hydraulique* fasse croire que cette chaux ne donne de bons résultats que lorsqu'elle est employée dans l'eau; et l'on peut admettre comme un fait d'expérience bien établi, que la résistance des bons mortiers hydrauliques est égale à celle de la classe moyenne des pierres à bâtir. On peut citer à l'appui de cette assertion les ouvrages de fortifications, dont les maçonneries ont été faites avec les chaux hydrauliques de Metz, de Tournay, de Cassel, etc.

Mesurage et transport de la chaux. Tassement.

59. La chaux vive, soit aérienne, soit hydraulique, doit être *mesurée* au mètre cube, et telle qu'elle se trouve en sortant du four.

Le *transport* de la chaux doit se faire avec soin, dans des vases clos ou dans des voitures fermées, pour éviter tout contact avec l'air, surtout quand on doit la livrer à l'état de chaux vive.

Au point de vue du bénéfice à réaliser sur la vente de

la chaux ou du plâtre, la question du transport depuis le four jusqu'à l'endroit de la livraison, mérite d'être prise en considération sérieuse, surtout dans les grandes villes. « Tout le bénéfice du plâtrier est dans le pied du cheval, » me disait un ancien fabricant de plâtre qui voulait exprimer l'importance de cette question, sous le double rapport de la distance à parcourir et de la qualité des chevaux.

Le *tassement* qu'éprouve la chaux est toujours assez considérable lorsqu'on la transporte par voiture du four à chaux pour l'emmagasiner ou la déposer à pied d'œuvre. Ce tassement doit être déterminé par l'expérience. Il dépend non-seulement de la nature de la chaux, mais aussi des moyens de transport employés, de la distance à parcourir, et, jusqu'à un certain point, de l'état des chemins. Pour la chaux hydraulique de Paris, transportée par voiture à cinq kilomètres sur un chemin pavé, le tassement est d'un sixième : c'est-à-dire qu'un mètre cube (1000 litres) de chaux vive mesuré au four ne produit plus que 830 litres au lieu du déchargement. Il est donc essentiel de spécifier dans les devis si la chaux devra être mesurée au four ou au point de déchargement. Cette observation doit influer aussi sur le calcul du foisonnement par l'extinction, selon qu'on le détermine pour la chaux prise au four ou amenée à pied d'œuvre.

Conservation de la chaux.

60. Quand on veut conserver la chaux, il faut, aussitôt après son refroidissement, la mettre dans des caisses ou des tonneaux hermétiquement fermés. En effet, dans cet état, on peut la garder au moins une année sans qu'elle perde beaucoup de sa qualité.

M. Vicat a indiqué un autre procédé particulier à la chaux hydraulique; nous allons le transcrire ici tel que ce savant ingénieur l'a décrit :

« On commence par en étendre une couche de 15 à

centimètres d'épaisseur, réduite en poudre par immersion, sur le sol d'un hangar (ce sol est supposé à l'abri des inondations et de toute humidité). Sur cette couche, on empile la chaux vive en la serrant avec une masse de bois, pour diminuer les vides autant que possible : on termine le monceau par des talus assez doux, qu'on recouvre d'un dernier lit de chaux, prise au moment où elle vient de subir l'immersion ; celle-ci, en tombant en poussière, se loge dans les intervalles de la chaux vive en pierres, et l'enveloppe assez bien pour la défendre du contact de l'air et de toute humidité. Une expérience faite en grand sur soixante mètres cubes de chaux vive a justifié la bonté de ce procédé, la chaux tirée du tas s'échauffait et fusait encore très-bien après cinq mois d'un hiver constamment pluvieux.

« Plus l'approvisionnement doit être considérable, plus il est avantageux d'employer le moyen de conservation qu'on vient d'exposer. Quand la chaux doit voyager pendant plusieurs jours par terre, et qu'on a des chances de mauvais temps à craindre pendant le voyage, il faut la faire éteindre par immersion à sa sortie du four, et la charger dans des tombereaux à couvercles exactement fermés par le fond et par les côtés. La caisse de ces tombereaux peut avoir une grande capacité à raison de la légèreté spécifique de la chaux. »

Le procédé le plus employé aujourd'hui, comme nous aurons lieu de l'indiquer encore en étudiant spécialement les diverses espèces de chaux les plus répandues, consiste à opérer, à la sortie du four, l'extinction par immersion de la chaux, de façon qu'elle se délite et tombe en poussière. Celle-ci est passée au blutoir à toile métallique à maille très serrée, et enfermée ensuite dans des sacs, ou des tonneaux de préférence quand on aura à en faire des expéditions lointaines.

Ce procédé offre une foule d'avantages, tant au point de vue de l'emploi que de la conservation de la chaux, et est généralement adopté par toutes les grandes fabriques qui

font des expéditions un peu importantes et dont le produit ne se consomme pas uniquement sur place.

Nombre d'hommes nécessaires au service d'un four.

61. Le service d'un four, en ce qui concerne la conduite du feu, peut être fait par un seul homme dans la plupart des fours à calcination périodique. Mais on conçoit qu'il en faut un plus grand nombre pour le charger, et que ce nombre doit varier en raison et de la disposition du four, et de l'éloignement des lieux d'où l'on tire les matières premières. Généralement trois hommes, ou deux hommes et un aide suffisent pour effectuer cette manœuvre, attendu que la pierre à chaux est toujours amenée dans des voitures et déposée au pied du four, lorsque celui-ci n'est pas établi sur les carrières mêmes.

Fabrication du marbre artificiel par la fusion du carbonate de chaux.

62. Bien que le carbonate de chaux pur soit infusible et qu'il se décompose à la chaleur rouge, nous devons mentionner un fait curieux : c'est que cette décomposition cesse d'avoir lieu lorsque le carbonate de chaux est calciné dans une capacité hermétiquement fermée (1).

Hall a reconnu que si on calcine de la craie dans un canon de fusil scellé hermétiquement à ses deux extrémités, le carbonate calcaire, au lieu de se décomposer, entre en fusion, et présente après un refroidissement lent, toutes les propriétés du marbre. La haute pression qui se développe dans le tube empêche le dégagement de l'acide carbonique.

On a cherché, il y a quelques années, disent MM. Pe

(1) MM. Gay-Lussac et Faraday ont constaté, comme on l'a vu précédemment, que le carbonate de chaux est indécomposable dans une atmosphère d'acide carbonique.

ouze et Frémy, à produire artificiellement du marbre, par la fusion du carbonate de chaux amorphe. On a établi à Paris une usine où l'on a fabriqué des marbres incolores, ou diversement colorés, en fondant de la craie pure ou mêlée à des oxydes métalliques. Cette entreprise n'a pas eu de suite ; mais le problème de la fabrication du marbre n'en est pas moins résolu.

L'expérience de Hall a permis, du reste, d'expliquer la présence du carbonate de chaux cristallisé dans des terrains qui ont une origine ignée.

Combustibles employés à la cuisson de la chaux.

63. Les combustibles qui peuvent servir à cuire la chaux, sont le bois en bûche, les fagots, les bourrées, la tourbe, la houille, le coke et le charbon de bois. Pour le chaufournier, la question du combustible est la plus essentielle à étudier, quand il a le choix ; mais, ordinairement, il est contraint par des considérations de localités.

Il est parlé, dans le chapitre des *Fours à chaux*, de résultats obtenus dans quelques pays ; mais ces résultats ne doivent être pris que comme des approximations, car rien n'est plus vague que les évaluations faites dans des endroits différents. Aussi, de nombreuses difficultés se montrent-elles quand on cherche à établir quelques rapports entre les quantités de bois ou autres combustibles consommés dans les fours dont on fait usage. Il est difficile d'établir des comparaisons utiles quand les renseignements sont donnés par *cordes*, dont il existe diverses espèces, et quand on ne dit pas quelle est l'essence, la grosseur et la forme des bûches employées. C'est la même chose quand il s'agit de menu bois, de fagots, de bourrées, etc. La houille et la tourbe ne présentent pas moins de difficultés relativement à leurs qualités et à la manière dont elles sont mesurées. Les appréciations de ce genre ne sont donc que des approximations douteuses.

Néanmoins, vaille que vaille, voici des *minimum* qui paraissent généralement acceptés. On consommerait dans la cuisson de la chaux :

Une mesure de bois pour une mesure de chaux ;

Deux mesures et demie de fagots pour une mesure de chaux ;

Deux mesures de tourbe pour une mesure de chaux ;

Une mesure de houille pour quatre ou cinq de chaux ;

Deux mesures de charbon de bois ou de coke pour trois de chaux.

Il est inutile de dire qu'il faut des fours appropriés à chaque combustible, et que ces proportions n'ont probablement jamais été déterminées d'une manière bien exacte.

En tous cas, comme il peut être très-utile de connaître les quantités de chaleur produite par différents combustibles, nous allons donner quelques renseignements à cet égard. On trouvera, en outre, à l'article qui parle de la cuisson du plâtre, des données sur l'emploi des gaz combustibles. Voici plusieurs documents sur le calorique développé par la combustion des corps solides.

Tableau de la quantité de chaleur développée par la combustion de 1 kilogramme de combustible, par M. Péclet.

	Unités de chaleur.
Bois parfaitement sec.	3500
Bois dans l'état ordinaire de dessiccation, renfermant 25 0/0 d'eau. . .	2600
Charbon de bois.	7300
Houille grasse moyenne.	6000
Coke, 0,15 de cendres.	6500
Tourbe de bonne qualité.	3000
Charbon de tourbe donnant 0,18 de cendres.	6400

Suite au tableau précédent d'après les résultats obtenus par M. Regnault.

Anthracite du pays de Galles.	7300
— de Lamure.	6800
Houilles grasses et dures d'Alais. . .	7370
Houilles grasses maréchales de Rive-de-Gier.	7270
Houilles grasses à longue flamme de Lancashire.	7050
Houilles grasses à longue flamme de Commentry.	6730
Houille sèche à longue flamme de Blanzy.	6230
Lignite parfait de Dax.	5790
Lignite imparfait de Grèce.	4830
— de Usnach (bois fossile).	4320
Lignite passant au bitume, d'Ellbogen.	6580
Asphalte.	7500

Ainsi, un kilogramme des matières ci-dessus donne le nombre d'unités de chaleur qui se trouve en regard. (Nous devons prévenir qu'on est convenu d'appeler *unité de chaleur*, ou *calorie*, la quantité de chaleur qui est nécessaire pour élever d'un degré la température d'un litre d'eau.) Le tableau suivant peut aussi rendre service.

Tableau des valeurs relatives de différents combustibles estimés en volumes sous le rapport de la quantité de chaleur qu'ils émettent dans leur combustion.

	Unités de chaleur.
1 hectolitre de houille moyenne . .	630,000
1 hectolitre comble de coke . . .	230,000

	Unités de chaleur.
1 corde de bois (4 stères) de noyer d'une année de coupe.	7,742,000
1 — de chêne blanc, id.	6,846,000
1 — de frêne, id.	5,974,000
1 — de hêtre, id.	5,603,000
1 — d'orme, id.	4,487,000
1 — de bouleau, id.	4,102,000
1 — de châtaignier, id.	4,035,000
1 — de charme, id.	5,572,000
1 — de pin, id.	4,263,000
1 — de peuplier d'Italie, id . . .	3,069,000
1 corde de tourbe de Beauvais, 2e qualité, pesant 2,000 kilog.	1,200,000

Pour obtenir ces différents nombres, on a multiplié le nombre de kilogrammes de matière que contient chaque mesure, par le pouvoir calorifique correspondant à un kilogramme de combustible.

Voici les relations qui existent entre les poids et les volumes de différents combustibles.

Tableau des poids du mètre cube de différents bois.

Chêne de futaie coupé depuis un an, en bûches refendues.	275 kil.
Chêne de futaie coupé depuis un an, scié en quatre.	515
Chêne gros bois coupé depuis 3 ans, refendu.	386
Chêne gros bois scié en quatre.	485
Chêne de charbonnage.	230
Hêtre en gros rondins refendus.	400
Bouleau en gros rondins.	440
Sapin en gros bois.	300 à 340

Voici quelques renseignements analogues concernant les houilles.

DÉSIGNATION.	POIDS de l'hectolitre.
Auvergne et Blangy.	87 kil.
Saint-Etienne.	84
Creuzot.	79
Mons.	80

65. Quand on connaît la quantité de calories que pro-uit un combustible, il est toujours facile de comparer a valeur à celle d'un autre combustible, en divisant le rix par le nombre de calories.

Combustible dans les fours à grande flamme.

66. On comprend que tous les combustibles solides bois, houille, etc.) et les combustibles gazeux (flammes erdues d'un autre foyer, gaz combustibles provenant e la décomposition préalable des combustibles solides), euvent, quand ils développent la chaleur nécessaire, ervir à la calcination de la chaux.

Le bois de corde refendu et les gros fagots ont été pré-érés pendant longtemps à tout autre, parce qu'ils pro-uisent une flamme qui peut s'élever du foyer à la par-ie supérieure du four, par les interstices laissés entre es pierres, ce qui, en effet, présente un avantage. Mais, our bien des localités, ces combustibles coûtent trop her. Il serait parfois avantageux de les remplacer par e menus fagots, des bottes de bruyères, ou des bour-ées de brandilles de bois et menus débris de coupes dans es forêts, si ces légers et par conséquent volumineux ombustibles n'exigeaient pas un foyer d'une grande di-iension, et surtout des soins pénibles et continuels de

la part de l'ouvrier charge de conduire et d'alimenter l
combustion pour qu'il n'y ait aucun ralentissement.

Pour chauffer avec du bois, il suffit de placer le com
bustible sur la sole de la base du four, comme l'indiquer
les figures 2 à 9 inclusivement, parce que la flamme d
ce combustible est naturellement vive et ascendante. L'ai
qui doit alimenter la combustion peut être introduit pa
la porte du foyer elle-même, ou par des ouvertures pra
tiquées dans la base du four. Il n'en est pas de même d
la houille et de la tourbe.

La tourbe, qui existe en France dans beaucoup de co
trées, à très-bon marché, peut rendre des services pou
fabriquer la chaux, si cette matière se trouve à proximit
Nous dirons, en faveur de ce combustible, qu'en Angl
terre, où on ne fait généralement usage que de charbo
de terre, on a trouvé avantageux, dans quelques endroit
de se servir de tourbe.

Pour chauffer à la houille, à la tourbe, au coke, a
charbon de bois, il faut établir le feu sur une grille pl
cée à quelque distance de la sole, et à travers laquel
tombent les cendres. Les fours, fig. 10 et 11, indique
cette disposition. On fait arriver l'air sous la grille p
le cendrier; de cette manière, l'inspiration continuel
de l'air à la partie inférieure établit un courant dirigé
bas en haut, qui favorise la combustion et élève la flam
et la chaleur. Cette disposition est indispensable, par
que ces combustions donnent naturellement un *feu sou*
quand il n'est pas activé.

Conduite du feu.

67. Quel que soit le combustible, le feu s'allume av
de la paille, du menu bois de branchage, des c
peaux, etc.

Si l'on brûle du bois, on doit disposer les bûches
manière à ce qu'elles se croisent pour que l'air pui
circuler facilement autour. Lorsqu'elles sont trop gross

on doit les refendre, parce que, dans cet état, le bois donne un feu vif qui se répartit mieux sur toute la surface du foyer.

Si l'on brûle des fagots, il faut également avoir soin d'en éparpiller les morceaux au moyen d'une fourche.

Par la même raison, la tourbe doit aussi s'éparpiller, mais sur une grille; et de temps en temps le chaufournier doit remuer le combustible avec un fourgon pour donner de l'activité au feu. Il faut aussi que d'heure en heure, il retire avec un râteau de fer les cendres amoncelées dans le cendrier. Cette manœuvre, indispensable dans un feu de tourbe, où il s'en produit beaucoup, prévient l'engorgement et favorise sous la grille le courant d'air qui doit alimenter la combustion.

Quant au charbon de terre, lorsque le feu de menu bois est allumé, on le charge à la hauteur de 10 à 13 centimètres avec des morceaux gros comme le poing, sans les presser, afin de laisser des interstices suffisants pour le passage de l'air et de la flamme.

Le feu étant ainsi disposé, doit être maintenu dans le même état, c'est-à-dire modérément, jusqu'à ce que la pierre calcaire soit suffisamment échauffée; on charge ensuite de manière à élever la chaleur au degré convenable; mais on doit procéder à cette opération avec soin, et ne pas charger indifféremment avec de la grosse houille et du menu, ni fourgonner trop souvent le feu, parce que, dans l'un et dans l'autre cas, les menus morceaux tombant entre les plus gros et les interstices de la grille, interceptent le passage de l'air, ralentissent la combustion, et souvent même occasionnent le refoulement de la flamme et de la fumée par la porte du four.

En général, il ne faut toucher au feu de houille que lorsque celle-ci s'agglutine trop et forme une espèce de voûte dans le haut.

Enfin, lorsqu'on chauffe avec du charbon de bois, il suffit de placer simplement les morceaux les uns sur les

autres en les croisant le plus possible, et de tisonner de temps en temps.

L'économie du combustible dépend, en partie, de la manière dont le tirage est réglé, et, par conséquent, de la quantité d'air qui entre dans le four pour alimenter la combustion. Plus on fera entrer l'air en grande quantité, plus il faudra augmenter le combustible pour nourrir le feu, qui sera d'autant plus actif, et pour empêcher que le four ne se refroidisse, ce qui dérange toujours la répartition uniforme du calorique, et occasionne des biscuits. L'introduction de l'air extérieur doit donc être ménagée avec art, soit par la porte même du foyer, soit par des canaux ou conduits disposés à cet effet dans la base ou dans les murs latéraux, comme on le voit représenté par les figures 9, 14 et 15.

Dans les fours d'une construction grossière, où souvent il n'existe pas de porte, et *à fortiori* de conduits particuliers, les chaufourniers sont obligés, après chaque charge, de boucher, en partie, la gueule du four, avec des pierres ou des gazons, pour arriver au résultat dont il s'agit. Quelquefois aussi ils se contentent de placer un fagot à l'entrée de la gueule, et lorsque le feu a besoin d'aliment, ils le jettent dessus; ce fagot est ensuite remplacé par un autre, et cette manœuvre se renouvelle autant de fois que la combustion l'exige; mais on conçoit que de pareils moyens ne doivent produire que des résultats bien imparfaits.

Lorsque l'on jette du combustible dans le foyer, soit à la pelle, soit à la fourche, pour alimenter le feu, il s'établit à l'instant même un courant d'air entre les parois du four et la surface des pierres calcaires qui ne sont pas en position de recevoir directement l'action du feu, de façon à interrompre la calcination, à la retarder, en un mot, à la rendre imparfaite, parce que le feu doit toujours être, ainsi que nous l'avons déjà dit, violent et non interrompu. Il en résulte aussi un dommage réel et considérable pour le chaufournier, non-seulement parce qu'il perd les frais

du prix d'achat des matières premières et de la main-d'œuvre, mais encore de la dépense du combustible, dont la consommation est même plus grande lorsque la fournée n'est manquée qu'en partie.

L'unique moyen de remédier à cet inconvénient, est de régler la vitesse du courant d'air qui s'établit entre la gueule du four et l'orifice supérieur par lequel la fumée et la flamme s'échappent, en diminuant, autant que possible, cette ouverture. Les fours construits d'après ce principe sont ceux qui ont donné constamment les meilleurs résultats.

CHAPITRE III.

Emploi de la chaux.

68. Il est indispensable au fabricant de chaux, sinon de savoir faire l'ouvrage d'un bon maçon, d'avoir, au moins, quelques notions sur ce qui se rapporte à la nature et à l'emploi de la marchandise qu'il vend, de manière à pouvoir, au besoin, l'apprécier et en discuter la valeur.

La chaux n'est pas seulement employée à la confection des mortiers, quoique ce soit la plus importante de ses applications. On l'employa de bonne heure encore au blanchiment, à la peinture en détrempe et à la fabrication des lessives caustiques. L'eau de chaux est fréquemment employée dans les laboratoires. On en fait une consommation considérable dans beaucoup d'industries : on l'emploie dans le tannage pour gonfler les peaux ; dans l'épuration du gaz pour absorber l'acide sulfhydrique et l'acide carbonique ; elle sert dans la préparation de la potasse et de la soude pour enlever par voie humide l'acide carbonique aux carbonates alcalins ; elle est employée dans la saponification des corps gras destinés à la fabrication des bougies stéariques, et dans la fabri-

cation du sucre, pour l'opération qui porte le nom de *défécation* ; on en fait un grand usage en agriculture, comme amendement, lorsqu'une terre est trop argileuse, et pour lui restituer l'élément calcaire que la végétation lui enlève chaque année ; on peut l'appliquer, seule ou à l'état de chlorure de chaux, dans la désinfection momentanée des égouts et des matières fécales qu'on veut faire servir à l'amendement des terres, etc., etc.

Les mortiers de chaux résistent beaucoup mieux aux intempéries de l'air et à l'humidité que le plâtre, quoiqu'on se serve quelquefois de celui-ci pour élever des murs et bâtir des maisons.

69. La *pierre à chaux*, ou calcaire, ou carbonate de chaux, a pour formule chimique CaO, CO^2, et, par conséquent, pour composition, un équivalent de *chaux* (prot oxyde de calcium, CaO) combiné avec un équivalen d'acide carbonique (CO^2).

La *chaux vive*, ou chaux, ou protoxyde de calciun (CaO), est la substance qui provient de la calcination d la pierre à chaux et qu'on retire du four. Elle est séparée de l'acide carbonique qui en faisait du carbonate d chaux.

La *chaux éteinte*, ou hydrate de chaux, a pour formul chimique CaO, HO, et pour composition, un équivalen d'eau.

D'après les poids des équivalents chimiques, en supposant les matières dans leur plus grand état de pureté voici ce qui se passerait dans la cuisson du carbonat de chaux et l'extinction ou l'hydratation de la chaux vive

Carbonate de chaux.			Acide carbonique.		Eau.		Hydrate de chau	
$CaO,$	CO^2	$-$	CO^2	$+$	HO	$=$	$CaO,$	HO
350	275						350	112,5
625			275		112,5		462,5	

C'est-à-dire que, comme les chiffres qui sont placé sous les symboles chimiques représentent les poids res

jectifs des corps, si l'on calcine 625 de carbonate de chaux, il perdra 275 d'acide carbonique (il restera 350 de chaux vive); et, en l'éteignant, elle se combinera avec 112,5 d'eau, et on aura 462,5 de chaux hydratée en poudre sèche.

Quand la chaux est éteinte, elle n'est pas humide, si l'on n'a pas ajouté une quantité d'eau trop grande, quoique 350 kilog. de chaux vive absorbent 112,5 d'eau dans l'extinction, et que le poids de la chaux vive s'augmente d'autant. C'est qu'ici il n'y a pas mélange, mais combinaison entre la chaux et l'eau.

Foisonnement. — Quand on jette de l'eau sur de la chaux vive, elle l'absorbe ; la température s'élève ; elle se délite en craquant; il se fait un grand dégagement de chaleur, qui vaporise l'eau en excès, en produisant un sifflement ; la chaux se boursouffle et se réduit en poussière en augmentant de volume : elle *foisonne.*

70. On ne peut pas faire de mortier sans avoir préalablement *éteint la chaux.*

S'il y a une opération au monde qui soit simple en apparence, c'est bien celle-là. Cependant nous allons voir que, comme dans bien des choses, la manière de s'y prendre n'est pas indifférente.

On éteint la chaux de trois façons :

1° Par l'*extinction ordinaire* qu'on désigne aussi *extinction par fusion.* Elle se fait dans des bassins imperméables. Il ne faut y employer que la quantité d'eau nécessaire pour réduire la chaux en bouillie épaisse. Le maximum de température a lieu quand on ajoute à la chaux environ la moitié de son poids d'eau. Le dégagement de chaleur peut élever la température jusqu'à 300 degrés. Il faut mettre assez d'eau sans discontinuer afin de ne pas être obligé d'y revenir au moment de l'effervescence ; ou bien s'il n'y a pas assez d'eau, on attend le refroidissement pour en ajouter une nouvelle quantité.

On proscrira, dans tous les cas, la méthode, suivie par quelques maçons, de noyer dans une grande quantité

d'eau, qui ne lui donne qu'une consistance laiteuse, pour la verser ensuite dans des fosses perméables où elle se dessèche, car elle perd ainsi de ses qualités.

Quand on devra conserver de la chaux après l'avoir coulée, il faudra la recouvrir de sable.

2° *Par l'extinction par l'immersion.* — On met la chaux vive, réduite de la grosseur d'une noix, dans un panier qu'on plonge dans l'eau, où on le laisse jusqu'à ce que la surface de l'eau commence à bouillonner; alors on le retire, et après avoir fait égoutter un moment, on met la chaux dans des caisses ou futailles.

A cette immersion succcèdent divers phénomènes.

La chaux siffle, décrépite, se gonfle, laisse dégager des vapeurs brûlantes, et tombe en poussière à l'instant.

Les phénomènes ci-dessus ne se prononcent avec énergie qu'au bout de 5 ou 6 minutes. Après un quart-d'heure environ, la chaux fume et se fendille faiblement, et dégage peu de vapeurs.

Ce n'est qu'après une ou plusieurs heures qu'on observe le fendillement et un léger dégagement de fumée et de chaleur.

Quelquefois ces phénomènes ne se produisent que très tardivement avec une intensité presque nulle, et la pulvérulence n'a pas lieu.

Ce procédé d'extinction par immersion se pratique encore autrement, et sous cette forme il est très intéressant à connaître, car les fabricants de chaux livrent rarement de la chaux vive et bien plus souvent de la chaux éteinte et pulvérulente en sacs ou futailles tarés.

On place la chaux vive sortant du four dans des fours de délitement, où on la laisse séjourner une quinzaine de jours et où elle reçoit, au moyen d'un arrosoir, son eau d'extinction, en assez faible quantité pour qu'elle ne puisse jamais être mouillée. Lorsque la chaux est transformée en poudre sèche on a soin de la bluter au travers d'une toile métallique, afin d'en séparer toutes les parties solides, les incuits. La poudre ainsi obtenue

loit être impalpable, douce et onctueuse; c'est sous ette forme qu'elle est expédiée.

Des expériences attentives ont été faites à propos de a chaux du Theil, sur ce procédé d'extinction et ont onduit à des résultats très intéressants.

100 kil. de chaux blutée en poudre impalpable peu-'ent être substitués à 125 kil. de chaux vive. Ce qui per-net, le prix de la chaux blutée étant un peu plus élevé, le calculer ce que coûterait l'extinction et le gâchage, 'il y a ou non avantage à prendre la chaux vive ou la haux blutée.

D'autre part, il faut bien constater que 100 kil. de chaux lutée représentent 125 de chaux vive, avec une absorp-ion de 25 °/₀ d'eau, et que si elle n'en absorbe que 15 °/₀, l faut diminuer le poids de la quantité à employer lans le rapport du nombre de kilogrammes d'eau ab-sorbée. Toutefois, la quantité de chaux blutée produite par 100 kil. de chaux vive, quoique pesant moins, n'en aura pas moins la même valeur pour la fabrication du mortier par exemple.

3° Par l'*extinction spontanée*, qui se fait en laissant la chaux vive à l'action lente et continue de l'atmosphère. Elle se réduit en poussière fine, en dégageant un peu de chaleur, mais sans vapeur visible. Dès que la chaux est complètement réduite en poussière, il faut, si on veut la conserver, avoir les mêmes soins que pour la chaux éteinte par immersion.

71. Chacun de ces procédés ne peut pas s'employer indifféremment avec toute espèce de chaux. Telle manière d'éteindre une sorte de chaux, peut produire sur elle des effets qui n'auraient pas lieu par un autre mode d'extinction.

On ne peut guère poser de principes à cet égard. Il serait même quelquefois mauvais de se fier à l'analogie dans des localités différentes.

Voici ce qui prouve, entre autres exemples qu'on pourrait multiplier, que les effets ne sont pas les mêmes avec

tous les moyens d'extinction : la chaux hydraulique d'Obernai, employée à Strasbourg par le général Treussart, ne foisonne pas par l'extinction ordinaire; mais, si on l'éteint par immersion, 100 mesures en rendent 140.

M. Larabit, capitaine du génie, a observé que la chaux maigre de Couvin, près Rocroi, rend 125 mesures pour 100 par l'extinction ordinaire, et 170 par l'extinction par immersion ; puis, si l'on prend la chaux en poudre éteinte par ce dernier procédé, et qu'on la réduise en pâte, 100 de chaux vive ne donnent que 75 de pâte après avoir absorbé en tout 68 d'eau.

72. Pour déterminer la quantité d'eau strictement nécessaire dans l'extinction ordinaire, il faut prendre un fragment de chaux vive qu'on pèse avec soin, et qu'on met dans un verre ; alors on verse de l'eau dessus, en quantité plus que suffisante pour l'éteindre. Quand l'eau a produit son effet et que la chaux est bien réduite en bouillie, et reste au fond du verre, on décante l'eau en excès et on pèse la bouillie : la différence entre le poids de fragment de chaux vive et celui de cette bouillie représente la quantité d'eau qu'il faut employer.

Pour comparer le foisonnement des diverses espèces de chaux résultant du procédé d'extinction, il faut prendre trois poids égaux de la même matière, en éteindre un par chaque procédé, faire trois pâtes d'égale consistance, en ajoutant aux poussières fournies par les deux dernières une quantité d'eau suffisante. Si l'on a eu soin de noter la quantité d'eau absorbée, et de mesurer les volumes avant et après l'extinction, on trouvera que :

	Volume de la pâte, celui de la chaux vive étant 100.	Eau absorbée.
Une pâte molle préparée avec 100 kil. de chaux grasse éteinte :		
1° Par le procédé ordinaire donne.	250	291
2° Par immersion.	234	172
3° Spontanément.	258	188
Une même pâte préparée avec 100 kil. de chaux hydraulique éteinte :		
1° Par le procédé ordinaire donne.	137	105
2° Par immersion.	127	71
3° Spontanément.	100	68

Il ressort de l'inspection de ce tableau que si l'on cherche le classement des procédés d'extinction pour les chaux en les disposant suivant la préférence à donner, on trouve :

Chaux grasse. . . . . 1°, 3°, 2°
Chaux hydrauliques. . . . . . 1°, 2°, 3°

Suivant la nature du procédé suivi, un volume donné de chaux en pâte contient des volumes différents de chaux vive et d'eau, et ces quantités varient encore avec la nature de la pâte formée.

D'où l'on peut conclure combien il est difficile, quand on ne sait pas comment la chaux a été éteinte, de juger si un mortier en apparence fort gras, contient assez de chaux pour acquérir par la suite une bonne consistance.

73. A Lille et dans beaucoup d'autres villes, on éteint la chaux par le premier procédé. Voici comment il est décrit dans une notice de M. le capitaine du génie J.-B. Bergère : on jette sur la chaux vive assez d'eau pour

qu'elle puisse se réduire en poudre très-fine, après quoi on la recouvre de la quantité de sable nécessaire pour faire le mortier ; ce sable sert à conserver la chaleur du tas, et accélère la réduction de la chaux en une poudre impalpable ; mais cette méthode demande une grande surveillance sur les ouvriers, afin qu'il ne reste pas de globules de chaux non éteinte dans le mélange. M. J.-B. Bergère attribue, en partie, au défaut de soin à cet égard les dégradations survenues aux parements extérieurs des fortifications de la place de Lille, et voici comment il explique la cause de ces accidents : Lorsqu'un mur est élevé, le parement se sèche plus vite que l'intérieur ; plus tard, l'eau surabondante, rejetée par le mortier de l'intérieur, se porte vers le parement, où elle trouve des globules de chaux vive avec lesquels elle se combine en se solidifiant, et dont elle augmente le volume ; cette chaux produit alors un effet analogue à celui du plâtre gâché, et il en résulte des boursoufflures au parement, et, par suite, des écorchements. M. J.-B. Bergère ne regarde pas cette action de la chaux comme la seule cause des nombreux écorchements des revêtements de Lille ; mais il pense qu'elle y a puissamment contribué, et cette idée est d'autant plus probable, que les écorchements affectent souvent des formes et des positions particulières qui paraissent tout à fait indépendantes du mode de construction et des autres causes qui peuvent produire ces dégradations ; ils sont en quelque sorte répandus au hasard sur la surface du parement, parce que la chaux ayant été éteinte au fur et à mesure de la fabrication et de l'emploi du mortier, il n'y a pas eu uniformité de soins pour son extinction, et le mortier s'est trouvé contenir plus ou moins de particules de chaux vive à différentes époques et à différents lieux de la construction.

Par l'extinction spontanée, les chaux grasses rendent depuis 175 volumes jusqu'à 255 pour 100. Les chaux hydrauliques augmentent peu de volume. Voici le procédé indiqué par M. Vicat à l'égard de ces dernières :

« La chaux hydraulique, prise vive et en pierre, se jette à la pelle dans un bassin imperméable : on l'y étend par couches d'égale épaisseur (de 20 à 25 centimètres); on y amène l'eau au fur et à mesure, et de telle manière qu'elle puisse circuler et pénétrer avec facilité dans les vides que les fragments de chaux vive laissent entre eux. L'effervescence ne tarde guère à se manifester. On continue à jeter alternativement de la chaux et de l'eau; mais il faut bien se garder de brasser la matière et de la réduire en laitance, selon la mauvaise coutume des maçons; seulement, quand, par hasard, quelques pellées de chaux fusent à sec, on y dirige l'eau par des rigoles que l'on trace légèrement dans la pâte, et de temps en temps on enfonce un bâton pointu dans les endroits où l'on soupçonne que l'eau a pu manquer : si le bâton en sort enduit d'une chaux gluante, l'extinction est bonne; s'il s'en élève au contraire une fumée farineuse, c'est une preuve que la chaux a fusé à sec; on élargit alors le trou, on en fait d'autres à côté, et l'on y amène l'eau.

« On ne doit aussi éteindre que la quantité de chaux hydraulique dont on a besoin pour la consommation d'une journée. Deux bassins séparés, ou deux capacités dans le même bassin, sont indispensables. On commence à remplir l'un quand l'autre est vidé. C'est ordinairement sur la fin du jour que l'extinction a lieu; par ce moyen, la chaux a vingt-quatre heures pour travailler, et les fragments paresseux se divisent tous.

« La chaux éteinte comme il vient d'être dit est déjà très-ferme le lendemain. Il faut la piocher, ou du moins la couper avec une pelle tranchante, pour l'extraire : il semble qu'en cet état elle ne puisse plus être ramenée à l'état de pâte sans une addition d'eau; mais c'est une erreur.

« Si, au lieu d'être prise vive, la chaux hydraulique a déjà subi l'immersion, les bassins deviennent inutiles, la réduction en pâte s'opère au fur et à mesure que le besoin de la consommation l'exige; on règle la dose d'eau

de manière à atteindre à peu près le même degré de consistance que par l'autre procédé. »

74. Il faut se défier des maçons pour le choix du mode d'extinction de la chaux, quand on tient à la qualité du mortier, car il arrive souvent qu'ils ne veulent pas du meilleur mode d'extinction, rien que parce qu'il produit moins de foisonnement qu'un autre. Quelquefois aussi les ouvriers refusent, par routine, des espèces de chaux qui peuvent être très-bonnes. Ainsi, dernièrement encore, dans le département du Calvados, la moitié de la chaux qui s'y fabriquait et qui était hydraulique, n'était employée qu'à l'amendement des terres, uniquement parce qu'elle ne foisonne pas autant que les autres et parce que, en durcissant promptement, elle force les ouvriers à changer leur manière de travailler.

Puisque la manière d'éteindre la chaux influe sur ses qualités, il est important que le fabricant s'en préoccupe, surtout au point de vue de l'application qu'on veut en faire. Généralement, il faut que les ouvriers qui préparent le mortier en aient l'habitude. Ils doivent être employés à la journée et jamais à la tâche.

Aperçu des mortiers et des bétons.

Il est bon aussi, très-souvent, que le fabricant de chaux ne soit pas tout-à-fait étranger à la manière dont peuvent se faire les mortiers. Mais nous ne pourrions nous occuper complètement de cette matière qu'en entrant dans des détails qui sont réservés au *Manuel du Maçon*. Nous nous bornerons ici à quelques observations générales. Nous commencerons par parler de l'eau et des sables.

Eau.

75. L'eau qu'il convient d'employer, soit pour l'extinction de la chaux et le gâchage du plâtre, soit pour la confection des mortiers, doit toujours être la plus

ure possible, et l'on ne doit employer l'eau de la mer, u même l'eau saumâtre, soit pour l'extinction de la haux, soit pour la fabrication des mortiers, qu'autant u'on se sera assuré que les mortiers résultant de l'emloi de ces eaux ne seront pas d'une qualité inférieure ceux obtenus en se servant d'eau douce.

L'eau de rivière, dit M. Fleuret, doit être préférée à outes celles qui filtrent dans les terres, parce que celes-ci tiennent toutes en dissolution des sels différents, lont l'eau de rivière est peu chargée.

Lorsqu'on ne pourra pas se procurer de l'eau de rivière, il faudra employer celle de source, après néannoins s'être bien assuré qu'elle n'est point minérale. I. de la Faye dit : « Lorsqu'à Paris, dans les quartiers qui sont situés au nord, nous éteignons la chaux avec le l'eau de puits, qui contient de la sélénite, parce qu'elle iltre à travers des terres gypseuses, l'acide vitriolique le cette eau séléniteuse se combine avec le principe alcalin de la chaux, et empêche la cohérence du mortier. »

Il paraît que l'on peut atténuer les mauvais effets de la crudité de l'eau en la laissant séjourner quelque temps à l'air. Cette précaution devrait donc être prise lorsque les lieux où l'on bâtit n'offrent pas d'autres ressources.

Comme la chaux se combine d'autant mieux avec l'acide carbonique qu'elle est mieux divisée, et qu'une eau crue ou impure s'opposant à cette division extrême et, par suite, à ce que l'acide carbonique se porte d'une manière égale et en assez grande quantité sur le corps qui lui sert de base, il résulte de la mauvaise qualité de l'eau, que la cristallisation ne s'opère que confusément et imparfaitement, et que le mortier se dessèche et reste friable. En conséquence, quand on forme un puits pour se procurer l'eau nécessaire, on doit au moins ne se servir que de celle qui est claire, et, en tous cas, ne jamais employer d'eau croupissante d'un marais ni celle qui coule dans les rues.

On a presque toujours défendu l'emploi de l'eau de

mer dans la fabrication des mortiers ; cependant, principe ne doit pas être absolu. Il est certain que mortier fait avec cette eau a une dessiccation plus lent et produit à la surface de la maçonnerie, pendant ass longtemps, des efflorescences salines qui doivent, da tout état de cause, empêcher d'employer l'eau de m pour le mortier destiné à bâtir les lieux d'habitatio mais ces inconvénients seraient sans importance po des maçonneries de rempart et autres revêtements ; si l'eau de mer donnait une plus grande solidité au mo tier, on devrait l'employer, dans ce dernier cas, de pr férence.

Bélidor cite des travaux dans lesquels on a fait usag avec succès, du mortier fabriqué avec de l'eau de me et il cite également d'autres travaux dans lesquels même pratique a eu des résultats différents. M. Gratie Lepère, ingénieur des ponts-et-chaussées (*Recueil d'ex périences faites à Cherbourg*), donne la préférence à l'ea de mer pour éteindre la chaux destinée à la confectio des bétons. Smeaton a éprouvé, dans la suite d'exp riences qu'il a faites sur les mortiers, lors de la con truction du phare d'Edystone, que l'eau de mer éta plus avantageuse que l'eau douce pour la fabrication de mortiers. Le même résultat a été obtenu dans de nom breux travaux faits à Flessingue ; et, dans la construc tion de plusieurs fronts de fortifications baignées par l mer, on n'a employé, pour la fabrication du mortie soit de trass, soit ordinaire, que de l'eau de mer, et e peu de temps ces mortiers ont pris une dureté telle, qu les vagues qui usaient et corrodaient les briques, n'a vaient aucune action sur les joints, qui formaien comme autant de bourrelets encadrant chaque brique d parement. M. le général du génie Michaux a obtenu u résultat semblable à l'île d'Elbe ; enfin, une quatrièm expérience de M. le général du génie Treussart, est encore un fait à l'appui de l'opinion dont il s'agit.

De tout cela, il résulte que l'eau de mer peut proba-

lement servir, et même d'une manière avantageuse, ans certaines circonstances. C'est à ceux qui se propoent de l'employer d'en faire des essais préalables.

Nous reviendrons sur ce sujet, ainsi que sur celui des ables qui entrent dans la composition des mortiers, ans le *Manuel du Maçon.*

Sables.

76. Les sables sont, ainsi que les pierres, de compositions tellement variées qu'il est difficile d'en parler d'une nanière absolue. Cependant on peut bien se faire une dée que les sables sont des petits fragments de roches t qu'ils ne proviennent pas de calcaires purs qui ne se éduisent pas en grains par le frottement, mais en boue u en poussière.

C'est à tort que quelques auteurs considèrent les saples comme une substance inerte : ils font subir aux maières des modifications qui résultent de leur nature et les contacts auxquels ils sont soumis; il peut y avoir lécomposition ou solidification, désaggrégation ou affinité, et alors le sable contribue singulièrement aux résultats de solidité et de durée. En général, cependant, il paraît que l'on peut employer dans les circonstances ordinaires, les sables qui ne sont ni terreux, ni glaiseux, ni de mer.

Les acides sulfurique, nitrique ou hydrochlorique, même très-concentrés, sont sans action, soit à chaud ou à froid, sur les sables vitreux. On entend par sable vitreux, celui qui est composé de silex ou de quarz. Le sable calcaire est formé de détritus de coquillages ou de fragments de pierres calcaires.

On peut analyser les sables par les procédés qui ont été indiqués pour les calcaires et les argiles.

Il y a des sables qui sont métallifères, et cette qualité peut ne pas être indifférente. On peut commencer par s'en assurer bien facilement en les exposant au feu : si

la coloration qu'ils prennent ne persiste pas, dispara[it] en grande partie, c'est qu'ils ne sont pas métalliques.

Il est entendu qu'on ne doit employer que du sab[le] non-terreux, soit de carrière, soit de rivière. On do[it] préférer celui qui est rude au toucher et criant à [la] main. On doit éviter surtout celui qui est mélangé d[e] matières argileuses, ces matières pouvant faire pâ[te] avec l'eau et n'ayant par elles-mêmes aucune cohésio[n].

Le lavage des sables de carrière est quelquefois néce[s]saire.

Lorsque le sable est pris dans le lit des torrents, o[n] doit toujours le passer à la claie, pour en extraire le[s] pierres et certains corps étrangers qui peuvent s'y trou[]ver mélangés.

On ne doit jamais employer le sable provenant de l[a] pulvérisation des grès, à moins d'une nécessité ab[]solue.

La qualité du sable, avons-nous dit plus haut, n'es[t] pas indifférente à la qualité du mortier. Cette manièr[e] de voir est celle de M. Rondelet, qui assure que, dan[s] les sables du même genre, ceux qui sont le plus foncé[s] en couleur (le jaune excepté) sont les meilleurs; mais i[l] ne paraît pas que cela soit toujours vrai.

Il résulte des observations de M. Vicat, que « le sabl[e] quarzeux ne contribue pas, comme on l'a cru, à aug[]menter la force de cohésion dans toute espèce de chau[x] indistinctement : mais il est utile à quelques-unes, nuisi[]ble à d'autres, et il en existe parmi les espèces intermé[]diaires, à la solidité desquelles sa présence n'ajoute n[i] n'ôte rien. »

M. Vicat a fait des expériences pour déterminer l'in[]fluence de la grosseur du sable éminemment siliceux su[r] la résistance des mortiers exposés à l'air et faits avec l[a] chaux éteinte par immersion, et il présume que les ré[]sultats qu'il a obtenus s'appliqueraient à la chaux éteint[e] par les deux autres procédés. Voici l'ordre de supériorit[é] dans lequel il classe les sables :

Pour les chaux éminemment hydrauliques : 1° les sables fins ; 2° les sables à grains inégaux, résultant du mélange soit du gros sable avec le fin, soit de celui-ci avec le gravier ; 3° le gros sable.

Pour les chaux communes, grasses et très-grasses : 1° les gros sables ; 2° les sables mêlés ; 3° les sables fins.

D'autres expériences, faites depuis, ont confirmé une partie de ces résultats, quel que soit le mode d'extinction. M. de Saint-Léger a trouvé, par exemple, que, contrairement à l'opinion commune, le sable dont on se sert habituellement à Paris donne un meilleur mortier lorsqu'on se contente de le laver que lorsqu'on en sépare les grains très-fins par le tamisage. En général, toute addition de terre crue à des mélanges de chaux et de sable est contraire à la bonté des mortiers, et l'on doit toujours débarrasser, par le lavage, le sable des parties terreuses qui nuisent à sa qualité.

Il paraît que les résultats trouvés par M. Vicat pour les sables quarzeux ; s'appliquent également aux sables calcaires et même aux sables volcaniques.

Relativement à leur origine, on distingue les sables extraits de la mer ou des rivières, et les sables de fouille. Les premiers n'offrent guère d'autre différence que d'avoir été mouillés les uns par l'eau salée et les autres par l'eau douce. La plupart des auteurs prescrivent de n'employer le sable de mer qu'après l'avoir lavé à l'eau douce ; mais les expériences de M. le général Treussart sur l'influence que peut avoir le sel marin sur la qualité de la chaux, en la rendant plus ou moins hydraulique, porteront sans doute à examiner si l'opération du lavage est bien utile. Au reste, nous pouvons affirmer qu'on a employé assez souvent, dans la fabrication des mortiers, du sable de mer non lavé, et qu'on n'a point remarqué qu'ils fussent d'une qualité inférieure à celle des mortiers faits avec du sable lavé à l'eau douce.

Les sables s'attacheront d'autant mieux aux chaux que leur surface sera plus raboteuse. En conséquence, parmi

les sables de mer ou de rivière, on préférera ceux qui, étant restés déposés longtemps sur la rive sans être roulés par les eaux, auront eu leur surface corrodée et dépolie par suite de l'action variée des agents de la nature. Les sables de fouille, soit qu'ils aient été déposés par les eaux dans le sein de la terre, soit qu'ils proviennent de débris de montagnes entraînés par les pluies et les torrents, seront toujours préférés aux sables de mer et de rivière. Dans tous les cas, si les sables sont arides, il sera bon d'humecter un peu ceux qui seront susceptibles d'absorber de l'eau, avant de les employer.

M. Raucourt, en observant les duretés respectives des substances naturelles du règne minéral qui ont de l'analogie avec les mortiers, a conclu que l'ordre de prééminence des sables, d'après leur composition, était : des sables siliceux, basaltiques, quarzeux, granitiques, calcaires et volcaniques.

Il a été fait, lors de la construction du canal de l'Est, et du canal de la Marne au Rhin, de nombreuses expériences sur la confection des mortiers, bétons, et l'action due à la nature des éléments employés.

Voici, à ce propos, des expériences très-intéressantes faites à propos des sables, et qui sont utiles à consulter pour la bonne pratique de la fabrication des mortiers et bétons. Dans cette fabrication, on mélange les matières en les mesurant au volume. Pour les sables, par exemple, on se sert de brouettes jaugées, remplies d'une façon uniforme, et le nombre de brouettes employées forme un volume déterminé. Or, il était intéressant de se rendre compte dans un pareil volume, de la part effective qui revient au sable. En un mot, le volume du dit sable, abstraction faite des vides qui restent entre les diverses parties.

Voici comment on opérait : On prenait une caisse en zinc étanche d'un volume connu, on l'emplissait de sable comme lorsqu'on opère sur les brouettes jaugées. Puis on versait de l'eau avec précaution, de manière à déter-

miner le tassement du sable, et arrêtant l'opération au moment où l'eau cessait d'être absorbée et venait affleurer les matériaux. On notait le volume d'eau ainsi employé (a).

On achevait ensuite de remplir la caisse, et le nouveau volume d'eau employé (b) représentait le volume du tassement produit.

Le total $a + b$ représente le vide du sable dans la caisse.

La différence entre le volume de la caisse employée et le volume b, représente le volume du sable mouillé après son tassement. Enfin, le quotient de a par cette différence donne le vide du sable mouillé.

Les expériences ont été conduites sur une série variée de sables appartenant à cinq variétés géologiques; et dans chacune d'elles on a fait l'expérience en double et sur des sables fins et des moyens; sur des sables provenant d'alluvions anciennes, ou dragués à même le lit de la rivière.

Les expériences ont donné des résultats inattendus.

Ce sont les sables fins qui présentent les plus grandes variations de vide. Ainsi, une première série provenant d'alluvions calcaires, de la pulvérisation du grès vosgien et infraliasique ne renfermaient secs, que de 25 à 26 0/0 de vide; alors que ceux provenant du grès bigarré d'alluvions anciennes ou de terrains de transition en renfermaient 39 à 44 0/0.

Les sables moyens ont montré une allure plus régulière, le vide ne variant guère que de 28 à 37 0/0 pour le sec, et 21 à 29 0/0 pour le mouillé.

Il faut de là, tirer cette conséquence, c'est que lorsqu'on voudra être parfaitement sûr des quantités que l'on mélange soit pour fabriquer des mortiers ou des bétons, il sera indispensable, pour déterminer à bon escient le nombre de brouettes de sable à affecter au tas, de s'être rendu compte, par une expérience préliminaire, du volume effectif de sable correspondant à celui de la brouette.

Les qualités du produit varient beaucoup avec les proportions de matière. Ce manque de précautions a pu être la cause de l'insuccès de certains mortiers, dont l'usage n'a pas répondu à l'attente qu'on avait pu concevoir de la qualité des matériaux employés.

Les mêmes expériences ont été faites sur les graviers et les pierres cassées.

Ces matériaux n'éprouvent qu'un tassement insignifiant lorsqu'on les mouille, et on peut n'en point tenir compte.

Le résultat de ces expériences a montré que les vides de la pierre cassée sont toujours notablement supérieurs à ceux du gravier. Dans le premier cas il est de 45 à 50 pour 100, et pour le second 32 à 42 pour 100.

Des mortiers.

On appelle *mortier*, un mélange de sable et de chaux formant une pâte qui durcit plus ou moins promptement, soit à l'air, soit sous l'eau, en adhérant fortement aux matériaux qu'ils unissent.

Les mortiers se distinguent suivant la nature de chaux employée.

Le mortier de chaux grasse ne peut être employé que pour des constructions aériennes, comme murs de clôtures, d'habitation.

Le mortier de chaux hydraulique durcit à l'air et sous l'eau, spécialement employé pour les maçonneries exposées à l'air humide, comme les culées de ponts et les travaux de navigation.

Les mortiers de pouzzolane et chaux grasse ou hydraulique pour les maçonneries constamment sous l'eau.

Le dosage des mortiers se fait ordinairement à l'aide de brouettes jaugées. Le volume de chaux à employer ne peut être moindre que celui des vides qui existent.

En général, voici les proportions employées avec les chaux grasses en pâte :

Chaux. . . . . 1 partie.
Sable. . . . . 2 à 2.50

Avec les chaux hydrauliques en pâte :

Chaux. . . . . 1 partie.
Sable. . . . . 1.70 à 2.50

Le volume du mortier, après sa fabrication, est toujours inférieur à la somme des volumes élémentaires des matières employées.

En général, il faut, pour obtenir 1 mètre cube de mortier, que la somme des volumes de chaux en pâte et de sable soit de 1m.30 à 1m.35, dont 0m.45 de chaux, et 0m.90 de sable.

Nous avons mentionné, dans le chapitre précédent, des expériences intéressantes faites à propos du vide du sable, lors de la construction du canal de l'Est. Ces expériences furent aussi faites sur les mortiers. Mesurant le vide du sable par le procédé indiqué, on comparait le volume réel de chaux en pâte employé dans la composition effective du mortier par rapport à celle à employer dans la composition normale, soit : le vide du sable augmenté de 1/10. Voici les conclusions auxquelles conduisirent les résultats de ces expériences.

Les mortiers ont été classés en trois catégories.

Les mortiers gras, dans lesquels le volume de chaux en pâte dépasse 500 litres par mètre cube de sable. Cet excédant varie de 382 à 320 litres. Ces mortiers sont réservés pour la confection des bétons coulés sous l'eau.

Les mortiers moyens, dans lesquels le volume de pâte varie de 400 à 500 litres par mètre cube de sable. L'excédant de chaux varie de 222 litres à 15 litres environ, soit sur le vide du sable augmenté de 1/10, 84 litres en moyenne.

Enfin, les mortiers maigres, dans lesquels le volume de la pâte est inférieur au vide du sable augmenté de 1/10. Cet excédant du vide varie de 176 litres pour des mor-

tiers employés à des culées de ponts, à 41 litres pour de
écluses, aux ponts sous canal, etc.

Résultats des essais faits sur la résistance des maté-riaux immergés confectionnés à l'aide de la chaux du Theil, lors de la construction du port de Marseille et de bassins de radoub de Toulon, en premier par M. Pascal ingénieur, et en second, par M. Noël, directeur des travaux hydrauliques.

Résistance à l'arrachement par centimètre carré.

	KIL.	KIL.	KIL.	KIL.
Après 45 jours. .	2.023	2.084	2.165	2.168
90 jours. .	5.982	6.228	5.892	5.463
180 jours. .	6.826	7.047	6.027	6.011
1 an.. . .	8.068	7.085	8.089	8.059
2 ans. . .	9.092	11.054	»	»

Résistance à l'écrasement.

	KIL.	KIL.	KIL.	KIL.
Après 45 jours. .	15.412	14.188	13.649	»
90 jours. .	25.029	25.486	24.979	»
180 jours. .	41.771	32.085	31.074	»
1 an.. . .	43.102	41.032	39.513	»
2 ans. . .	43.017	40.060	40.036	»

Enfin, il y a les mortiers de sable et de ciment exclu-sivement, qui se distinguent en mortiers à prise rapide ou à prise lente.

Ils sont très-employés sur terre pour les travaux d'en-

duit, de jointoiement dans les conduites d'égout, etc., et enfin pour les travaux maritimes, où l'on ne peut opérer avec sécurité qu'en employant un mortier de ciment Portland, ainsi que nous le verrons plus loin.

Des bétons.

78. Le béton est un mélange de mortier hydraulique avec des cailloux, du gravier, des pierres cassées, etc.

On se propose ainsi de faire une maçonnerie artificielle imperméable et incompressible sous l'eau, incompressible seulement à la rigueur à l'air; qui est plus économique et plus résistante que le mortier seul.

Les qualités des bétons dépendent et de la nature du mortier et du mélange du mortier et des cailloux employés.

Un béton est dit plein lorsque le volume de mortier employé est égal au vide du volume de cailloux avec lequel il est mélangé.

Le béton est dit *gras* lorsque le volume du mortier est égal ou supérieur au vide, et *maigre* lorsque ce volume est inférieur.

Généralement l'on emploie 3 à 4 0/0 de cailloux mesurant en moyenne 0m.05 à 0.06 de grosseur, avec 2 parties de mortier. Et généralement, pour obtenir 1 mètre cube de ce béton à cause de la réduction, il faut employer 1,25 à 1,33 du mélange.

On emploie souvent et avec grand avantage, pour la confection de bétons destinés à être immergés, une addition de ciment au mortier.

Nous en citerons un exemple qui a donné lieu à des observations détaillées. Lors de la construction de l'aqueduc de la Vanne, on eut à traverser, dans les départements de Seine-et-Marne et Seine-et-Oise, un parcours d'environ 16 kilomètres, dans des formations géologiques ne fournissant que de mauvais matériaux. On se décida à avoir recours aux bétons agglomérés Coignet.

Voici quelle était leur composition :

Sables de rivière.	5	5
Chaux hydraulique.	1	1
Ciment de Portland.	0.25	0 20
Sables de Fontainebleau. . . .	4	4
Chaux hydraulique.	1	1
Ciment de Portland.	0.33	0.25

Le béton au sable de rivière a présenté une diminution de volume de 10 0/0 environ, celui au sable de Fontainebleau un foisonnement de 5 0/0.

Tous deux, après le pilonnage, ont présenté un cube de 65 à 70 0/0 de celui des matières employées.

Les mélanges et les malaxages se faisaient au broyeur mécanique, en ajoutant environ 10 pour 100 du volume d'eau.

On redoutait l'action de la gelée, mais l'expérience a montré que les bétons âgés de deux mois en étaient à l'abri.

D'autre part, l'emploi de ces produits a donné lieu aux observations suivantes :

Le durcissement de la matière étant dû à l'action de l'air, il sera toujours bon de ne pas donner une trop grande épaisseur au massif exécuté.

Il y aura lieu de tenir compte des inégalités de retrait.

Bien que le travail ait été suivi avec beaucoup d'attention, les ingénieurs n'ont pas cru pouvoir affirmer entièrement que l'on pouvait exécuter ainsi un ouvrage présentant le caractère d'un monolithe complet, surtout s'il atteint certaines proportions.

On a pu constater qu'on pouvait obtenir de petites voûtes présentant cette condition, pourvu qu'on prenne le soin de la contrebuter jusqu'à complet durcissement.

L'importance de la fabrication du béton nous engage à citer ceux qui ont été employés par M. Vicat au pont de Souillac et au pont de Mélisey :

M. Vicat a fait les fondations du pont de Souillac, sur la Dordogne, en béton immergé. Ce béton était compoés de la manière suivante :

	m. cube.
Sable granitique. . . .	0,390
Cailloux et gravier.. .	0,660
Chaux hydraulique en pâte.	0,260
Total.	1,310; cube réduit, 1 m.c.

La chaux hydraulique était de première qualité, fort maigre, et ne rendant qu'un pour un par l'extinction ordinaire : elle était cuite sur le chantier même, et l'on n'en éteignait la veille que la quantité nécessaire aux travaux du lendemain. Trente petites aires, de 2 mètres de longueur sur 1m.20 de largeur, pavées en dalles et fermées sur deux côtés seulement, étaient symétriquement et régulièrement disposées autour du puits et des bassins à chaux. Chaque aire était pourvue de deux pelles, d'une pioche, de quatre pilons de fonte du poids de 4,4 kilogrammes chacun, et de deux seaux, de la capacité de 70 litres. Les manœuvres étaient distribués de cette manière : à chaque aire, quatre; au bassin à chaux, pour poser, deux. La surveillance était exercée par trois commis, dont chacun avait son quartier. Ils vérifiaient l'état de la chaux avant l'introduction du sable, l'état du mortier avant l'introduction des cailloux, les doses, etc. Chaque division d'ouvriers n'opérait que sur un tiers de mètre cube de matières à la fois; le mélange se faisait à l'aide de pilons, afin d'obtenir une pâte aussi dure que possible; le travail de la journée était réglé, il était interdit à chaque division de fournir plus de 4 et moins de 3 mètres cubes de béton par jour.

Au pont de Mélisey on a fait usage de béton à base de chaux hydraulique artificielle, pour établir une aire de béton de 75 centimètres d'épaisseur, sur laquelle reposaient les fondations des piles et culées. A l'aval du pont,

on a établi un radier général reposant sur une aire d béton de 50 centimètres d'épaisseur, faisant corps ave celle qui règne sur les piles et culées, ainsi qu'une partie de 1m.40 en contre-bas sur toute la largeur de la rivière.

Le béton employé à Mélisey était ainsi composé :

Chaux hydraulique mesurée vive. .	0.400
Recoupes de pierres.	0.310
Scories de forge.	0.200
Gravier granitique.	0.100
Sable granitique.	0.200
	1.210

qui se réduisait à 1 mètre cube au moment de l'emploi

79. Les expériences faites au canal de l'Est sur le mortiers l'ont été aussi sur les bétons. Elles avaient pou but de déterminer les différences de composition réell des bétons employés avec celle dans laquelle on suppos que le volume du mortier à employer serait égal a vide du gravier ou de la pierre cassée, augmenté d'u dixième.

Il s'ensuit que, d'une manière générale, le béton d pierres cassées est notablement plus maigre que le béto de gravier, mais qu'en moyenne, la proportion de mortier est plus que suffisante pour remplir les vides de matériaux employés.

L'excédant de mortier est en moyenne, prenant 1 mètr cube de pierre ou gravier, pour les bétons de pierre cassées posés à sec de. . . . . 133 litres.

D°	gravier, d°.	248
D°	pierres cassées coulés sous l'eau.	260
D°	gravier, d°.	312

Nous n'entrerons pas dans de plus grands détails su les bétons, pour lesquels on trouvera, dans le *Manuel d Maçon*, toutes les formules de composition relatives au diverses natures d'éléments employés.

CHAPITRE IV.

Fours à chaux.

80. Il est certain qu'on calcine la pierre calcaire depuis un temps immémorial, puisque la chaux a servi de base aux mortiers avec lesquels les anciens ont donné à leurs constructions cette solidité qui, à tort ou à raison, excite encore aujourd'hui notre admiration.

On sait qu'on entend par calciner une pierre à chaux, la soumettre à l'action d'une forte chaleur, dont l'application est directe, continue et non interrompue, quelle que soit la nature du combustible, pour la réduire à l'état de chaux (chaux vive) en la séparant de l'acide carbonique et de l'eau contenus dans la pierre à chaux.

Du moment où l'on peut, n'importe comment, exposer la pierre à chaux (carbonate de chaux) à une température assez élevée et suffisamment prolongée pour en expulser l'acide carbonique, on obtient toujours de la chaux vive. Un moyen quelconque, donnant ce résultat, suffirait, et les fours à chaux seraient en quelque sorte inutiles, sauf l'économie du combustible.

M. de Humboldt rapporte que, dans la province de Brocamoroz, les Indiens se contentent d'embraser des nids de termites, qui sont formés de chaux carbonatée et de résine, pour en obtenir de la chaux vive.

Le plus simple de tous les procédés qui furent employés dans les temps reculés, se bornait probablement à mettre les pierres calcaires au milieu d'un grand feu et en plein vent; mais la perte de chaleur qu'une pareille méthode entraîne a dû faire recourir ensuite à quelque disposition mieux entendue. On aura commencé par entourer de pierres sèches un tas de pierres à chaux placées sur des branchages auxquels on mettait le feu, et quand

la chaleur gagnait toute la masse, on recouvrait de gazo la partie supérieure de cette espèce de four pour obteni une cuisson qui devait être lente, mais plus réguliè qu'en plein vent.

Dans certains pays arriérés, où le bois est abondant on trouve encore des fours à chaux qui consistent e une simple excavation pratiquée dans la terre, au flan d'une butte (fig. 1). Les pierres calcaires y sont amon celées de manière à laisser, d'une part, le plus d'inters tices qu'on peut entre les morceaux de pierres, pour qu la flamme circule librement entre elles, et aussi de ma nière à ce qu'il reste, dans la partie inférieure, un espac libre pour recevoir les fagots ou les bourrées qui doiven opérer la cuisson. Ces fours peuvent avoir 1m.50 de lar geur sur 3 mètres de hauteur. On conçoit quelles perte de chaleur il doit se faire, tant par la terre que par l côté qui reste ouvert ; néanmoins, on parvient de cett manière à transformer en chaux tout le calcaire, sauf le morceaux qui se trouvent exposés à l'air, de *a* en *b* (fig. 1) ce qui oblige à les remettre une seconde fois au feu.

Ce four rustique peut, malgré ses défauts, rendre de services aux propriétaires ou aux cultivateurs éloigné des fabriques de chaux et qui ne pourraient s'en procu rer autrement à cause des difficultés de transport.

81. *Cuisson en tas.* — Quand on a besoin de grande quantités de chaux qu'il faut cuire promptement, on peu disposer des tas de pierre à chaux mêlée de houille, le recouvrir de gazon et, quand le tas est embrasé, dirige l'opération comme s'il s'agissait de faire du charbon d bois. Cette méthode n'exige pas de frais d'établissement elle peut rendre des services quand il ne s'agit que d'un fabrication temporaire. Elle est, du reste, encore en usag dans le pays de Galles, où la houille dont on peut se ser vir est à très-bon marché.

Nous posons donc que tous les moyens par lesquels o

chauffe suffisamment la pierre calcaire donnent de la chaux; mais qu'il faut autant que possible réduire les frais de main-d'œuvre et de combustible, ce à quoi tendent les diverses dispositions de fours dont il va être question.

Les genres de fours actuellement en usage sont nombreux. Leurs dimensions et leurs formes présentent de grandes variétés, en raison des différentes méthodes de calcination, des combustibles employés, des habitudes, etc.

Nous allons donner la description de ceux qui sont le plus généralement adoptés.

Fours intermittents ou à calcination périodique à grande flamme.

82. Dans ces fours, le combustible et la pierre sont séparés. Nous diviserons ces fours suivant le combustible qu'on veut employer.

Parmi ces fours, il en est qui sont entièrement construits hors de terre, et d'autres, au contraire, qui y sont entièrement enfoncés. Dans le premier cas, le service, en ce qui concerne la charge, se fait au moyen d'une rampe en terre (fig. 9), qui part du sol naturel et aboutit à la partie supérieure du four. Dans le second cas, on descend jusqu'au niveau de la sole du four, soit par un escalier en maçonnerie, soit par une rampe douce et facile, comme l'indiquent les figures 4 et 6.

Chaufours au bois.

83. Le four (fig. 2) est employé dans les environs de Montreuil-sur-Mer. On voit qu'il est recouvert d'une voûte dans laquelle se trouve un gueulard x, qui sert à l'introduction de la pierre et par où s'échappe la fumée. On remarque que le diamètre va en élargissant vers le haut jusqu'à la naissance de la voûte. On peut y calciner

13 mètres cubes de pierres, qui produisent environ 12 mètres de chaux, avec 12 stères de bois.

Le four fig. 3 est employé à Metz et dans une grande partie de la Lorraine. Les plus grands contiennent jusqu'à 44 mètres de pierres qui produisent 42 mètres de chaux. Une fournée consomme 46 stères de bois de chêne. Mais si l'on emploie du bois blanc, il en faut 52 à 53 stères. Dans les grandes exploitations, ces fours sont réunis et accolés plusieurs ensemble. On les entoure de terre pour empêcher la déperdition de la chaleur, et on pratique, vers le milieu de l'espèce de tertre qui en résulte, deux rampes pour donner accès aux voitures qui transportent les pierres au sommet.

Le four fig. 4 est en usage en Champagne, à Mézières et à Sedan. Il diffère du précédent en ce que sa forme est droite, cylindrique, et qu'il est enfoncé dans la terre jusqu'au niveau de la partie supérieure. On arrive à la sole du foyer par une rampe encaissée entre deux murs de soutènement. Ces fours contiennent environ 10 mètres de pierres. On obtient 9 mètres 1/2 de chaux. On brûle 4 à 500 fagots qui équivalent à 13 à 14 stères de bois.

Le four fig. 5 est employé sur les bords de l'Ems. Dans la partie supérieure de cette rivière, on fait usage d'un four à peu près semblable au précédent, du moins quant à la forme des parties extérieures. Il est à deux chauffes, et complètement élevé au-dessus du sol. On y brûle 2 stères 670 de bois *en fagots* par mètre cube de chaux.

Le four fig. 6, qui a la forme d'un œuf, est, comme celui fig. 4, enfoncé dans la terre. Il contient 11 mètres cubes de pierres, produit 9 mètres de chaux et consomme 16 stères de bois.

Le four fig. 7 est en usage dans les environs de Strasbourg. Il a la forme d'un prisme rectangulaire. Il peut être à 1, 2, 3 ou 4 chauffes. Les fours à 2 chauffes contiennent ordinairement 50 mètres cubes de pierres, produisent 48 mètres de chaux et consomment de 72 à 85

stères de bois. On trouve des fours semblables dans le duché de Wurtemberg.

Le four fig. 8 se trouve près de Mauriac. Ce four est cylindrique, à base elliptique, bâti en pierres sèches ; il a environ 3 mètres de hauteur. On construit dans l'intérieur une voûte avec les gros morceaux de pierre que l'on doit cuire, de manière que la clef soit élevée d'environ 2 mètres. On recouvre cette voûte de pierres grosses comme le poing. Le feu dure au moins vingt-quatre heures. On chauffe avec du bois de châtaignier que l'on retire des forêts voisines. On en consomme 250 stères pour 100 mètres de chaux. Il vaudrait peut-être mieux, en changeant la manière de cuire, employer de la houille que l'on trouve à Champagnis, à une distance de deux lieues.

Des fours semblables se voient à Fraissac-le-Haut. On chauffe avec le gros bois de sapin de Lorient. La cuisson dure trois jours. Le feu doit être conduit lentement et avec précaution parce que la pierre a le défaut d'éclater et qu'il arrive quelquefois qu'un coup de feu trop brusque fait ébranler la voûte. Un de ces fours contient 24 mètres cubes de pierres. Il consomme 333 stères de bois pour 100 mètres de chaux.

Le four fig. 9 s'emploie à Nemours ; c'est un ellipsoïde de révolution tronqué par les extrémités. Chaque mètre cube de chaux exige 150 bourrées ou 2 stères à 2 stères 1/2 de bois blanc. La calcination de chaque mètre de pierres donne plus d'un dixième d'éclats.

Dans les fours fig. 3, 4, 5, 6, 7 et 8, les gueulards sont très-grands, afin de répartir la chaleur d'une manière égale; mais comme ils laisseraient une surface considérable exposée au contact de l'air qui la refroidirait, on la recouvre avec des pierres plates, dont on bouche les joints avec de la terre grasse, et on pratique, dans cette espèce de voûte, des trous qui servent à diriger le feu. Au lieu de pierres plates, on se contente souvent d'une couche d'argile ou de gazons.

Dans les fours fig. 2 et 9, les gueulards sont très-petits. Il se perd moins de chaleur par cette ouverture et elle est plus facile à boucher lorsqu'on veut refroidir le four et profiter, par ce moyen, de l'action de la chaleur concentrée dans l'intérieur.

Chaufours à la tourbe.

84. La fig. 10 représente le four de MM. Deblinne et Donop, qui se sont occupés spécialement de la cuisson des pierres calcaires au moyen de la tourbe. Il leur a valu le prix proposé à ce sujet par la Société d'encouragement. En voici la description :

a, niche dans la partie antérieure du four, où se fait le service du foyer.

b, embrasure de la porte servant à introduire le combustible et à retirer la chaux du four.

c, grille du four, composée de barreaux mobiles posés sur une retraite latérale dans les entailles d'une barre de fer circulaire, et soutenus par une barre transversale, scellée dans la maçonnerie. Ces barreaux doivent être dirigés dans le même sens que l'axe de l'embrasure de la porte, et posés sur l'une de leurs arêtes. Cette disposition est motivée d'après l'expérience, qui a démontré que si les barreaux étaient placés en travers et à plat, l'instrument (le fourgon) dont se servent les chaufourniers pour activer le feu, serait souvent arrêté, et la tourbe serait émiettée par le frottement trop considérable. Une grille semblable est préférable aux foyers à claire-voie en briques, parce que ces dernières sont sujettes à se détériorer promptement, et ne laissent pas un accès assez égal à l'air, ni des issues assez faciles aux cendres.

f g et *g h*, rayons de la courbure des parois au-dessus des pieds-droits.

k, œil du four par lequel on introduit la pierre à

chaux et qui donne issue à la fumée et aux produits gazeux de la calcination et du combustible.

l, chemise intérieure en briques, qu'il faut réparer ou reconstruire lorsque le feu l'a altérée.

Dimensions du four.

Hauteur de l'œil du four	. . . .	0.488
Id.	de la grille au-dessus du cendrier	0.813
Id.	de la grille jusqu'à l'œil.	4.357
Id.	totale de four	5 658
Longueur des pieds-droits inclinés	. . .	0.975
Diamètre du plus grand évasement	. . .	2.356
Diamètre de la grille ou foyer	. . . . . .	1.500
Id.	de l'œil du four.	0.813
Surface de la porte du four	. . . .	0.16
Id.	de la porte du cendrier.	0.36
Id.	de l'œil.	0.52
Rayon de courbure	. . . .	3.575

Les expériences auxquelles ce four a été soumis ont eu lieu à Essonne (Seine-et-Oise). En voici les résultats :

On a consommé, terme moyen, près de deux mètres de tourbe pour obtenir un mètre de chaux.

La tourbe de première qualité a eu l'avantage, sous le rapport du temps employé et du combustible consommé; celle de troisième qualité a demandé plus de temps; celle de deuxième qualité est presque aussi avantageuse que celle de première qualité.

Le four de MM. Deblinne et Donop ressemble aux chaufours à la houille dont on se sert en Prusse.

Dans d'autres localités où l'on cuit la pierre à chaux avec la tourbe, on en consomme ordinairement trois mètres pour un mètre de chaux. C'est déjà une grande amélioration sur ce qui se faisait dans le temps; ainsi, en 1808, pour un mètre de chaux on consommait, à Champigny, 4 mètres de tourbe; à Fontaine, près Saint-

Loup (Haute-Saône), 7 mètres ; à Reims, (Marne), 11 mètres, mais de tourbe très-poreuse.

Chaufours à la houille.

85. La fig. 11 représente la disposition des fours qui ont éte faits par lord Stanhope. En voici la description :

Ils sont bâtis (1) en briques, contre un escarpement qui en facilite l'exploitation, et ils ressemblent pour la forme au four carré ordinaire du faïencier ; mais ils sont beaucoup plus petits, et n'ont guère que $1^m.30$ de côté. Le plancher qui fait grille est percé d'un certain nombre de trous coniques, ou entonnoirs renversés ; sous cette grille est un cendrier qui a au moins un mètre de haut, en sorte qu'elle est à hauteur d'appui.

On dispose sur la grille, en façon de voûte, les pierres à calciner, qu'on entasse ensuite sur cette même voûte à une certaine épaisseur, à peu près comme dans les fours ordinaires ; mais ce qui distingue celui-ci, c'est le mode d'application du combustible et la conduite du feu.

Le combustible est un mélange de houille fort amenuisée, et de ce qu'on appelle *cinders*, c'est-à-dire de petits fragments de cette matière à demi-brûlée, qu'on recueille dans le cendrier, le tout *fortement imprégné d'eau.* Ce combustible se place en petit talus longitudinal sur tout le devant du plancher ou grille de fourneau, où se trouve une ouverture horizontale qui occupe toute la largeur, et n'est haute que d'environ 80 millimètres. Le combustible entassé contre cette ouverture la ferme, sauf dans les moments où se fait la combustion ; mais on l'entasse de nouveau immédiatement après.

Il résulte de cette disposition que le *tirage* se fait en partie par les interstices du combustible, mais surtout par les trous de la grille ; et, pour juger de son égalité,

(1) *Journal des Mines*, tome XIII, p. 158. Extrait de la correspondance de M. Pictet, l'un des rédacteurs de la Bibl. Brit.

on promène un petit miroir sous ces trous; lorsque la lumière de l'un d'eux n'est pas très-vive, on le désobstrue avec un petit ringard coudé. On égalise ainsi la combustion d'une manière parfaite, et toute la chaleur dégagée se porte sur la pierre à calciner.

L'humidité préalable du combustible contribue éminemment à la calcination; et la portion d'air qui est aspiré au travers de la houille mouillée, entre dans le foyer saturée d'humidité.

Dans le four que nous venons de décrire, dix-huit mesures de houille ou poussière de houille, mêlées à dix mesures de *cinders*, ou escarbilles de houille, calcinent très-promptement cent douze mesures de pierres à chaux.

Fours intermittents ou à calcination périodique, par superposition ou à petite flamme.

86. Dans la calcination périodique par *superposition* ou *à petite flamme*, on stratifie le combustible et le calcaire par couches ou lits horizontaux, dont les épaisseurs doivent varier suivant leur position, c'est-à-dire en raison de leur élévation au-dessus de la grille du foyer, et selon la densité de la pierre que l'on veut calciner.

Plus la pierre est dure, plus il faut donner d'épaisseur aux couches de combustibles; et cette épaisseur doit diminuer au fur et à mesure qu'elles s'éloignent de la grille.

Le contraire a lieu pour ce qui concerne la formation des couches de pierres : bien que les plus gros morceaux doivent être placés dans le haut du four, et cela pour la raison que le feu qu'on allume d'abord dans la partie basse, ou foyer, gagnant de proche en proche les couches supérieures, échauffe celles-ci beaucoup plus longtemps que les premières.

L'épaisseur des couches peut varier entre 15 et 70 centimètres.

La tourbe, la houille et le charbon de bois, sont les

combustibles qui conviennent principalement à ce mode de calcination.

Le bois peut y être également employé; mais comme il ne se stratifie pas commodément avec les morceaux de pierre, on en fait rarement usage.

Les pierres se disposent de manière à laisser des passages faciles à la flamme : on les place, à cet effet, la pointe en bas, c'est-à-dire que la partie la plus amincie ou la plus maigre se tourne vers la terre. Il faut surtout avoir soin de garnir les joints des couches de pierres avec les plus petits morceaux, pour que le menu de la houille ne descende pas à travers. La plupart des chaufourniers sont loin d'avoir toutes ces attentions, ils se contentent souvent de jeter la pierre du haut du four dans l'intérieur; mais c'est à tort, parce qu'il en résulte des inégalités dans l'épaisseur d'une même couche, et, en outre la pierre, en tombant, se tasse inégalement, ce qui empêche qu'elle soit uniformément bien cuite.

La charge d'un four se fait par le haut, et la chaux se retire par le bas, lorsque toutes les couches de pierres sont calcinées.

Quel que soit le combustible employé, le feu doit être établi sur une grille dormante ou formée par des barreaux mobiles en fer.

Avant de charger, on dispose sur la grille de la chauffe, ou foyer, des bourrées ou des copeaux propres à allumer le feu, et l'on superpose ensuite les couches alternatives de combustible et de pierre; mais on doit allumer, dès que la troisième couche de pierre est effectuée, pour éviter l'embarras, toujours onéreux, de décharger entièrement le four, si, par quelque accident, le feu ne prenait pas bien, ou s'il venait à s'éteindre.

Le feu s'allume en enflammant une botte de paille que l'on jette sous la grille; et, dès qu'il est bien pris, ce qui s'aperçoit principalement à la fumée qui sort par le haut du four, on bouche la gueule du foyer immédiatement après, pour que la combustion ne gagne pas trop vite

les couches supérieures; l'on charge ensuite le four complétement.

Lorsque le feu est près d'arriver au haut du four, il faut en garantir l'orifice par des abris-vents de planches élevés de quelques pieds au-dessus de son niveau.

On les change de place selon que le vent tourne, et, s'il le faut, on les abat pour recharger le four.

Le temps moyen pour calciner une fournée est de trois à quatre jours.

Les cendres se retirent en même temps que la chaux; mais celle-ci doit en être, sur-le-champ, complétement séparée.

Enfin, l'on met à part les morceaux de pierre mal calcinés, pour les placer une seconde fois dans le four.

Ces fours ont ordinairement la forme d'un cylindre à base circulaire, d'un cône tronqué et renversé, d'une pyramide également tronquée et renversée, ou d'un prisme rectangulaire. Il en est cependant qui présentent d'autres formes; mais alors ils ne sont point ou rarement construits en maçonnerie; ce sont des fours de campagne. Tel est, par exemple, celui qui est employé sur les bords de la Sambre. On peut l'exécuter sans beaucoup de frais, et en faire usage partout où l'on ne sera pas à portée des exploitations permanentes, et surtout lorsqu'on n'aura besoin que d'une quantité déterminée de chaux, sauf à le construire sur des dimensions moins grandes que celles du four dont il s'agit, et que nous allons décrire d'après ce qui en a été dit par l'ingénieur de Juzincourt.

Lorsqu'on a tracé sur une aire plane (fig. 12) un cercle de 2^{m}.90 de rayon, on creuse, au milieu de cet espace, sur 95 centimètres à 1^{m}.10 de profondeur, un trou cylindrique de 65 centimètres de diamètre. Du fond de cette espèce de puits, on enlève les terres jusqu'à la circonférence du grand cercle, en laissant un peu de convexité au fond du terrain *a*, *b*, *c*, qui représente alors comme un cône tronqué renversé, fort évasé par la base, et dont les côtés sont courbes. Du bord de l'orifice infé-

rieur du cône, on creuse aussi une rigole *a*, *d*, aboutis sant à la circonférence du grand cercle ; on la condui à peu près de niveau avec le fond de la première exca vation ; on la fait assez large pour y pratiquer, avec de pierres plates, une porte, d'un pied carré, vers le centr du four *a*, et d'environ 48 centimètres de côté à l'autr extrémité *d*. En avant de la rigole, on creuse encore u espace carré de 65 à 95 centimètres de côté, pour avoi accès à cette rigole, qui sert de gueule à ce four ; e quand le feu est bien allumé, on recomble l'orifice d porte-feu.

Après avoir recouvert le porte-feu avec des pierres, o commence la charge du four, en faisant, sur toute so étendue, un lit de pierres de moyenne grosseur, qu l'on arrange leur pointe en bas, afin de laisser entre el les de petits intervalles qui puissent faciliter la circula tion de l'air et l'embrasement de la houille ; on y jett ensuite quelques paniers de menues pierres, pour mas quer les joints des premières et empêcher la houille e poussière d'y tomber. Le milieu de ce lit de pierres s couvre de houille en petits morceaux, puis de houill en poussière, le tout sur environ 16 centim. d'épaisseu et 1m.95 de diamètre. On forme ensuite un autre lit, d même diamètre, de petites pierres jointes et bien ser rées, posées de champ mais un peu inclinées et rangées comme par rayons, du centre du four vers la circonfé rence ; on charge celui-ci de houille arrangée comme l première couche, dont celle-ci rejoint les bords, et o l'étend de 95 centimètres de plus tout autour ; après u nouveau lit de pierres placées de même avec sujétion on étend une troisième couche de houille de 35 à 4 millimètres d'épaisseur, qui couvre toute la surface d four, et qui communique, comme on le voit en *o*, *u*, avec la première et la seconde couche ; enfin, on recou vre la houille d'un autre lit de pierres semblablemen rangées, qui s'étend aussi jusqu'à la circonférence d four ; on fait en sorte que le total de ces premièr

charges soit un peu moins élevé vers le centre qu'auprès des bords du four, afin de lui conserver un peu d'encavement, et de donner, par là, un peu plus d'assiette au reste de l'édifice, que l'on compose de même par couches de houille alternatives, avec des lits de pierres ; mais comme l'action et la vivacité du feu sont beaucoup plus grandes lorsque toute cette houille d'en bas est enflammée, on ne fait les six ou sept premiers lits que d'environ 10 centimètres d'épaisseur chacun ; on augmente successivement les autres à mesure que le four s'élève, jusqu'à leur donner 25 à 30 centimètres, sans augmenter l'épaisseur des couches de houille ; et si les pierres ne se trouvent pas assez grosses pour former ces derniers lits, on y en ajoute de plates qui achèvent l'épaisseur ; on a soin aussi de donner aux pierres de chaque lit une petite inclinaison sur le champ, en sens opposé à celle des pierres du lit inférieur, pour empêcher que rien ne se dérange dans le four pendant la calcination.

Ce four, en s'élevant de dix-neuf à vingt lits de pierres en total, et jusqu'à $4^{m}.55$ au moins au-dessus de terre, diminue insensiblement, de manière que le contour se termine en calotte ; en sorte que, quand il est fini, la partie qui excède le terrain naturel se trouve avoir acquis assez exactement la forme d'un solide, résultant de la révolution d'une demi-parabole du premier genre, sur son axe.

Lorsque le four est chargé, on l'enduit intérieurement d'une couche de 55 millimètres d'argile en pâte ; on contre-bute ensuite tout le contour avec les plus grosses pierres que l'on peut rassembler, jusqu'à $1^{m}.30$ à $1^{m}.60$ de hauteur, pour empêcher les éboulements que le feu pourrait y occasionner. On a grand soin d'enceindre le tout d'une rigole *r*, avec pente, pour en éloigner les eaux, et d'opposer des paillassons au côté d'où vient le vent, pendant que le four est allumé ; on l'allume en introduisant quelques menus bois et fagots dans le porte-feu *a d*,

Ce four contient 60 mètres de pierres, produit 40 mètres de chaux et 3 mètres de cendres; il consomme 11 mètres ou 110 hectolitres de houille en poussière. Il faut huit hommes pendant quatre jours, ou trente-deux journées, pour l'établir. La cuisson dure cinq à six jours.

Entre Mons et Bruxelles, les fours sont cylindriques; on donne ordinairement 20 centimètres d'épaisseur aux couches de houille, 45 centimètres à celles de pierres, et l'on brûle environ 50 mesures de houille pour obtenir cent mesures de chaux.

Dans les environs de Mézières et de Sedan, les fours sont également cylindriques (fig. 13); ils contiennent $6^{m}.35$ de pierres et $4^{m}.10$ de charbon de bois. On donne communément 45 centimètres au premier lit de charbon, et au dernier 35 centimètres seulement. La première couche de pierres a 45 centimètres, et les suivantes 55, 65, 70 et 75. Lorsque le feu est allumé, on maçonne la gueule, mais on y laisse une petite ouverture pour faciliter l'introduction de l'air atmosphérique nécessaire à la combustion. La consommation du charbon est de 63 mesures pour cent de chaux obtenue.

A Utrecht (Hollande), il existe des fours dans lesquels on calcine des écailles d'huîtres. Leur forme est cylindrique, et l'on y stratifie la tourbe et les écailles par couches horizontales, comme on le ferait pour la pierre calcaire. Comme les écailles d'huîtres laissent peu d'interstices entre elles, il faut avoir soin d'établir dans ces sortes de fours de nombreux courants d'air partiels, sans quoi le feu ne tarderait pas à s'éteindre. Celui que nous donnons pour exemple (fig. 14) a dix évents grillés en maçonnerie que l'on bouche et que l'on ouvre selon la direction des courants d'air que l'on juge à propos d'avoir.

Pour calciner avec du bois, les fours doivent être carrés comme celui représenté par la figure 18, afin de n'avoir qu'une seule et même longueur à donner aux morceaux de bois, ce qui simplifie la main-d'œuvre du

sciage. Cependant, dans le cas où l'on ferait usage de menus branchages, les formes coniques et cylindriques pourraient également convenir.

Le mode de calcination que nous venons de décrire offre bien quelque avantage sous le rapport de l'économie du combustible, parce que l'action du feu y est immédiate ; mais il nécessite, après l'opération, une main-d'œuvre très-assujettissante pour séparer la chaux des produits de la combustion, et il ne donne pas, ordinairement, une chaux également bonne et bien calcinée, parce que le contact qui a lieu entre le combustible et la pierre peut lui faire perdre parfois quelques-unes de ses propriétés, et qu'il s'y rencontre beaucoup de *biscuits*, surtout lorsque l'on emploie du charbon de terre : aussi, pour éviter, autant que possible, ce dernier inconvénient, préfère-t-on, en Angleterre même, le chauffage à la tourbe lorsqu'il se trouve de bonnes tourbières près des exploitations ou chaufourneries.

Fours coulants, ou à calcination continue à grande flamme.

87. Ces fours ont généralement la forme d'un ellipsoïde de révolution, tronqué par ses extrémités; d'une pyramide renversée, ou de deux pyramides opposées base à base.

Le combustible est séparé de la pierre, comme dans la calcination périodique à grande flamme. On le place dans un four particulier. Le foyer, dans ces sortes de fours, peut être placé directement au-dessous de l'espace destiné à recevoir la pierre à calciner, comme l'indique la figure 21, ou, extérieurement, sur les faces latérales, comme dans la figure 22.

Dans le premier cas, les pierres placées au centre sont généralement plus calcinées que celles qui se trouvent près des parois; et, dans le second cas, le contraire a lieu.

Il convient donc de donner à ces fours le plus de hauteur possible, relativement au diamètre, parce que le calorique tend toujours à s'élever, et d'augmenter le nombre des foyers placés sur les faces latérales, en raison de leur développement.

A Rudersdorff, en Prusse, il existe un établissement où l'on fait usage des trois fours construits d'après les principes dont nous venons de parler. La figure 22 représente celui des trois qui donne les résultats les plus avantageux.

Il a cinq chauffes (foyers et cendriers); chacune d'elles est indiquée dans le plan, la coupe et l'élévation par les lettres *a a*. Les parois intérieures *b b* sont en briques réfractaires, et appuyées contre une chemise en briques ordinaires *c c*. Un intervalle *d d* est réservé entre la chemise *b* et la maçonnerie en moellons *e e*, à l'effet de recevoir les cendres dont on le remplit pour former une enveloppe autour des parois, et dont l'objet est d'empêcher l'infiltration de la chaleur à travers la masse du four.

f f sont les issues par lesquelles on retire la chaux.

Ce four produit 90 hectolitres de chaux environ par vingt-quatre heures.

Le combustible dont on se sert est un mélange de bois et de tourbe; il se fait dans la proportion d'une partie du premier pour quatre de la seconde. Le prix de la tourbe est aussi, dans ce pays comme en France, un peu moindre que la moitié de celui du bois pour le même volume.

Dans les ouvrages de M. de Rumford, on trouve la description d'un four (fig. 23) qui a beaucoup d'analogie avec celui (fig. 22) que nous venons de décrire; mais, comme son diamètre est très-petit, il ne lui a donné qu'une seule chauffe. On remarquera aussi que son foyer est beaucoup plus élevé qu'il ne l'est dans le four de Rudersdorff. Cette disposition offre l'avantage de pouvoir faire consumer la fumée dans la combustion, parce qu'on

l'oblige à redescendre et à traverser le foyer, d'où il suit qu'en brûlant elle ajoute à la chaleur utilisée.

On doit aussi à M. de Rumford la description d'un autre four à flamme renversée, dont M. de Raucourt a donné le dessin dans son *Traité sur l'art de faire de bons Mortiers*; voyez la figure 24. Le combustible se place sur l'alandier *f;* l'air arrive par la partie supérieure, et passe, avec la flamme et la fumée, sous une voûte, d'où la chaleur et la flamme se répandent dans l'intérieur *a b* du four, pour y calciner la pierre calcaire. Dans ce passage, la fumée, continuellement en contact avec l'oxygène resté dans l'air, se brûle et augmente la quantité de chaleur dégagée. La pierre, chargée par le gueulard *b*, descend dans l'espace cylindrique horizontal *m*, *n*, *n*, *m*, pour sortir par les gueules latérales *l*, *l*, lorsqu'elle est parfaitement calcinée. Enfin, sur les faces du cylindre, sont des ouvertures *d*, *d*, par lesquelles on peut donner entrée à l'air pour refroidir la pierre calcinée.

Ce four, et en général tous ceux construits d'après le même principe, offrent des avantages sensibles sur ceux employés pour la calcination continue avec le mélange de combustible et de pierre. En effet, ces fours, à cause de la grande élévation du foyer, mettent la flamme et la vapeur qui s'élèvent du feu, en contact avec la pierre calcaire, dans une grande surface, et empêchent la chaleur de s'échapper dans l'atmosphère. De plus, comme ils sont perpétuels, c'est-à-dire qu'on les recharge au fur et à mesure que l'on retire la chaux calcinée qui se trouve dans la partie inférieure, on prévient la déperdition de la chaleur, qui accompagne nécessairement le refroidissement du four, lorsqu'on le vide et qu'on l'emplit ; d'ailleurs l'appareil est disposé de manière à ce que, dès que la pierre est calcinée et qu'elle a, par conséquent, un degré de chaleur très-considérable, elle puisse, en se refroidissant, communiquer cette chaleur à une nouvelle charge et concourir à sa calcination : c'est là le motif de l'élévation du foyer au-dessus de la gueule par laquelle

on retire la chaux; enfin, ces sortes de fours ont l'avantage d'empêcher le contact du combustible et de la pierr qui peut, comme nous l'avons déjà dit ailleurs, faire perdre à la chaux quelques-unes de ses propriétés, comm de lui ôter la blancheur qu'on recherche dans beaucou de circonstances.

On emploie, à Nantes, un four dû à M. Simonneau, e qui offre plusieurs avantages, économie de combustibl et continuité de l'opération sans le mélange de la pierr et du combustible.

Il est formé par un ellipsoïde tronqué à ses deux extré mités. L'orifice supérieur a une ouverture de 3 mètres d diamètre; l'inférieur 0m.80, fermé par une grille formé de barreaux. Au niveau de la grille se présente un ouverture pour le défournement fermant par une port à coulisse. Au-dessous de la grille se trouve le cendrier et, à 3 mètres environ au-dessus d'elle, viennent abouti quatre conduits opposés deux à deux, entre lesquels u massif sert d'appui pour la voûte de chauffe. Ce four peu être chauffé avec tous les combustibles.

Si on emploie du bois à grande flamme, on ferme l cendrier, et on entretient sur chaque chauffe un feu vi

Si on emploie de la houille, on stratifie le calcaire pa couches de 5 mètres d'épaisseur. Avec un lit de branch supportant 7 hectolitres de houille, on obtient 8 hectoli tres de chaux par hectolitre de houille.

Si on emploie de la tourbe ou de l'anthracite, il ne fa donner que 2m.50 d'épaisseur aux couches de pierre, toutes les heures on peut tirer 1 hectolitre de chaux.

Un pareil four, d'une capacité de 120 mètres, peut pro duire 40 mètres cubes de chaux en vingt-quatre heure et il présente 8 à 10 fr. d'économie par 1,000 kilogramm sur les fours employés à la fabrication de la chaux pou l'agriculture (fig. 33 et 33 *bis*).

Chaufour à la tourbe.

88. Les figures 44, 45, 46, 47 et 48 représentent un four à calcination continue, à grande flamme et chauffé à la tourbe, tel qu'on l'établit à Rudersdorff.

La figure 44 en est une coupe verticale ; la figure 45, le plan au niveau du gueulard ; la figure 46, une élévation longitudinale ; enfin, les figures 47 et 48 sont deux coupes horizontales, l'une au niveau A B, l'autre au niveau C D. Le vide intérieur du four a la forme de deux troncs de cône qui se raccordent suivant leur large base, qui a 2m.50 de diamètre ; au fond et au gueulard, il n'a que 1m.90 de diamètre. Sa hauteur totale est de 12 mètres ; la hauteur du cône inférieur est de 2m.20. La chemise, en briques réfractaires *d' d'*, sur une hauteur de 7m.80, et en briques ordinaires *d d*, sur le reste de la hauteur, est séparée du massif extérieur *ee* du fourneau, formé de pierres calcaires, par un espace annulaire rempli de cendres tassées, afin de permettre à la chemise de se dilater par l'action de la chaleur intérieure, sans déterminer des mouvements et des fissures dans le massif extérieur. Le fourneau est entouré d'un manteau de murs *lmn*, ayant la forme d'un tronc de pyramide hexagonale, et divisé en quatre étages par des voûtes *o*, *o*, surmontées de planchers *p*, *p* ; de cette manière, la perte de chaleur par rayonnement est très-faible. Les deux étages inférieurs servent au service du fourneau, les deux autres à abriter les ouvriers pendant la nuit.

La combustion de la tourbe s'opère dans trois foyers latéraux voûtés *b*, *b*, *b* ; on charge la tourbe par des ouvertures, munies de portes en tôle recouvertes intérieurement d'argile, sur les grilles qui sont formées de briques réfractaires soutenues par un arceau transversal *f*. L'air nécessaire à la combustion arrive par les canaux *h* ; *i*, *i*, *i*, sont les cendriers, fermés par des portes que l'on n'ouvre que pour les vider. On retire la chaux par les

trois ouvertures *a*, *a*, *a*; les hottes *k*, *k*, *k*, placées au devant, entraînent le courant d'air chaud qui s'en échappe par ces ouvertures et l'empêchent d'incommoder les ouvriers. Le gueulard est entouré d'une forte balustrade en fer pour prévenir tout accident; la pierre calcaire y est amenée par de petits wagons roulant sur un chemin de fer *w*. Entre le fourneau et la colline à laquelle il est adossé, sont des constructions pour loger les ouvriers; on y arrive par les escaliers *t*, *u*, *x*. Les étages de ce bâtiment communiquent avec ceux des fourneaux, et ont des entrées particulières *g* et *s*. En *x*, on voit un chemin de fer qui conduit au gueulard d'un autre four à chaux.

Pour mettre le four en feu, on le remplit de pierre calcaire jusqu'au niveau CD, et on le calcine complétement en brûlant du bois dans les canaux *a*, *a*, *a*; on remplit ensuite avec précaution les fourneaux du calcaire, et on allume alors le feu sur les foyers *b*, *b*, *b*. On produit environ 100 hectolitres de chaux par 24 heures. On dépense un mètre et demi de tourbe pour la cuisson d'un mètre cube de pierre calcaire, et on obtient environ un mètre cube de chaux pesant 600 kilogrammes.

Fours coulants, ou à calcination continue à petite flamme.

89. Aussi bien que dans les fours intermittents, on stratifie, c'est-à-dire qu'on fait des couches dans les fours coulants de pierres à chaux et de combustible, et ce dernier brûle sans produire beaucoup de flamme, parce qu'il se trouve en contact avec la pierre.

On y fait ordinairement usage de houille ou d'anthracite. On peut également faire usage de bois, de tourbe ou de charbon de bois. En Angleterre, on préfère le coke à la houille, parce que ce combustible ne contient plus de matières bitumineuses qui peuvent nuire à la chaux.

Les fours se chargent jusqu'à ce qu'ils soient pleins, par lits alternatifs et horizontaux, de combustible et

de pierre, quel que soit, d'ailleurs, le combustible employé.

La charge se fait par le haut du four, et à mesure que le combustible s'use, ce qui produit un affaissement dans la masse, et que la chaux se retire par le bas, l'on ajoute de nouveaux lits de combustible et de pierre, et cela sans interruption, pour ne point laisser refroidir le four.

Les rapports d'épaisseur qui doivent exister entre les lits dépendent de la nature du combustible, de la grosseur de la pierre et surtout de sa dureté. Ce rapport peut varier dans la proportion de quatre parties de pierres pour une de combustible.

Les pierres se réduisent communément à la grosseur du poing ; et cette grosseur peut être la même dans toute l'étendue du four.

Quant à ce qui concerne leur arrangement pour laisser des accès faciles à la flamme, on se conduira comme il a été indiqué pour la calcination périodique à petite flamme.

Lorsque l'on fait usage de houille, on doit donner plus d'épaisseur aux couches formées par ce combustible dans l'axe du four que vers les parois. La différence est ordinairement dans le rapport de 4 à 3.

Pour charger un four de cette manière, on emploie communément huit à dix manœuvres, et, dans ce cas, il faut une heure environ pour masser $2^{m}.50$ cubes.

La conduite du feu, dans la calcination continue, n'exige pas moins de soins que dans la calcination périodique.

Pour allumer le feu, diriger son intensité et mettre l'orifice supérieur à l'abri des courants d'air, au moment où le feu gagne les couches supérieures, on fera aussi comme pour le mode de la calcination à petite flamme.

Comme les fours à calcination continue ont ordinairement plusieurs chauffes, il faut toujours choisir, pour allumer le feu, la gueule vers laquelle le vent souffle le

plus directement : seulement on se précautionnera contre celui qui serait trop violent.

Dans les fours bien organisés, on se sert de portes en tôle ou registres pour fermer les gueules, et dans ceux d'une construction moins soignée, on se contente d'arriver au même but avec des gazons, dans lesquels on pratique des ouvertures pour déterminer une répartition d'air uniforme, afin de rendre la combustion égale dans toutes les parties d'une même couche de combustible. Mais ce dernier moyen devrait toujours être rejeté, parce qu'il exige trop de sujétion de la part du chaufournier.

Il ne suffit pas toujours (1) pour opérer l'égalité du feu dans tous les cercles du four, de bien ménager le courant de l'air entrant dans le cendrier ; il se rencontre dans la masse des pierres, surtout auprès des parois du four, des endroits où le feu ne pénètre pas comme ailleurs, ce qui vient, en partie, de ce que la pierre, en tombant des mannes, se trouve plus entassée dans quelques points que dans d'autres, et moins garnie de houille dans ses joints. Ces endroits sont remarquables à la surface du four, par la couleur des pierres qui ne sont pas imprégnées de suie comme celles sous lesquelles le feu a fait le plus de progrès. Il faut donner un peu de jour pour que le feu s'y porte davantage. Alors le chaufournier dresse sa lance sur sa pointe, et, en l'agitant, la fait entrer à travers les pierres de toute sa longueur ; il la retire et la replonge plusieurs fois de suite dans le même trou, pour y former un petit canal ; il en pratique plusieurs semblables dans le voisinage, s'il le juge nécessaire. Il n'en faut pas davantage pour déterminer le feu à rétablir l'égalité vers ces parties. Ces coups de lance sont fort rarement nécessaires ailleurs qu'auprès des parois (2).

(1) *Traité théorique et pratique de l'Art de calciner la pierre calcaire*, par Hassenfratz, page 112.

(2) Cette manœuvre a également lieu dans les mêmes circonstances pour la calcination périodique par superposition ou à petite flamme.

On reconnaît que la calcination des couches de pierres inférieures est terminée, à une grande diminution dans la fumée; ce qui, ordinairement, a lieu lorsque le feu est parvenu aux trois quarts environ de la hauteur de la fournée. On retire alors toute la chaux qui est faite (à peu près les deux tiers de cette même hauteur), ou jusqu'au point où l'on aperçoit, parmi la chaux, des morceaux de combustibles enflammés; puis l'on recharge comme nous l'avons indiqué plus haut. Il faut au moins trois ou quatre jours pour que le feu parvienne jusqu'aux couchés supérieures, et selon la grandeur du four et suivant que le vent est plus ou moins favorable.

La chaux doit se retirer avec précaution, parce qu'une chute précipitée pourrait, en dérangeant les pierres, faire pénétrer et tomber entre leurs joints les charbonnées supérieures qui ne seraient point encore enflammées, et il se trouverait par là des parties de couches de pierres qui seraient dépourvues de houille, et d'autres qui en seraient surchargées. Au reste, cet inconvénient est à peu près inévitable, mais il peut être plus ou moins grave.

Les fours à calcination continue (1) peuvent avoir des grillages volants, comme dans la Flandre maritime; ou des grillages dormants, comme à Valenciennes. Le chaufournier est obligé, dans le premier cas, d'arracher les barreaux volants qui forment le grillage; alors la chaux tombe dans le cendrier, d'où on l'enlève. Si elle reste suspendue dans le four, on la fait tomber avec le manche de la pelle : cette chaux est enlevée par toutes les gueules, les unes après les autres. Les ouvriers prétendent que s'ils tiraient la chaux par une seule gueule, il n'y aurait qu'un côté du four qui se viderait, et que les pierres du four ne s'abaisseraient pas également. Quoiqu'il soit avantageux de retirer la chaux par plusieurs

(1) *Traité théorique et pratique de l'Art de calciner la pierre calcaire*, par Hassenfratz, page 112.

gueules, il n'y a cependant de dommages à craindre, en ne la retirant que par une seule gueule, que dans les fours à large diamètre. Lorsque le diamètre de la base n'a que 50 à 65 centimètres, on peut, sans danger, ne retirer la chaux que par une seule gueule.

Comme il se forme dans la partie supérieure du four un affaissement en retirant la chaux par les gueules, et que la surface supérieure est inégale, il faut d'abord jeter, sur cette surface, une charbonnée, puis la dresser : pour cela, le chaufournier enfonce sa lance, de quelques pieds, le long des parois du four, et, la saisissant par son œil, il s'en sert comme d'un levier, avec lequel il fait effort, contre le bord du four, pour soulever et retourner les pierres, les rapprocher de l'axe, et remplir l'encavement qui s'y était formé; il fait la manœuvre tout autour, et rejette même vers l'axe, avec une pelle, les pierres de la bordure pour reformer le bombage; après quoi il rejette la charbonnée et les charges de pierres alternatives, jusqu'au sommet du four. Cette opération se renouvelle chaque fois que l'on retire de la chaux.

Dans les exploitations ordinaires, on ne travaille ni les dimanches, ni les fêtes. La chaux se retire tous les jours, le matin et le soir. On abandonne le four à lui-même lorsqu'il est rechargé. Lorsque l'on doit passer un jour entier sans tirer la chaux, il faut disposer le four de manière à empêcher que le feu ne brûle aussi vite et ne monte à l'orifice aussi promptement qu'à l'ordinaire. Pour cela, on jette au centre de la surface une charbonnée de 8 à 10 centimètres d'épaisseur, de 65 centimètres de diamètre, que le chaufournier entasse en la piétinant, quelquefois en la mouillant; il la recouvre d'un lit de même épaisseur, formé des petits éclats des pierres, puis il ferme toutes les gueules du four.

Quoique la combustion continue, après avoir enlevé les barreaux volants des fours qui n'ont pas de grillages dormants, on est cependant obligé de reformer les gril-

lages volants, tous les huit ou quinze jours, pour nettoyer le cendrier et redonner de l'activité au feu : alors le chaufournier remet les barreaux en place, en les chassant à coups de masse à travers la chaux, par une des gueules du four, jusqu'à ce qu'il les ait assez enfoncés pour qu'ils portent sur la traverse. Dès que le cendrier est nettoyé et que le feu a repris toute son activité, on arrache les barreaux, et le four continue sa marche régulière.

Comme le cendrier s'engorge de temps en temps, par les cendres de la houille qui s'y amassent, surtout dans les intervalles entre les gueules, et que ces amas empêchent la chute de la chaux, le chaufournier retire soigneusement ces cendres et les met à part; elles sont mêlées de beaucoup de menus morceaux de chaux, et deviennent propres à faire un excellent mortier connu sous le nom de *cendrée*. Pour les séparer de la chaux, on se sert, dans les grands fours, de pelles percées de trous de la grosseur du doigt; on parvient, par ce moyen, à séparer la cendrée, et à la faire tomber sur un tas particulier, avant de mettre la chaux dans les mannes. Cette cendrée est très-estimée pour les constructions dans les lieux humides; on en retire, dans quelques fourneaux, une mesure sur deux de chaux. La cendrée des fours à bois n'est pas aussi estimée.

La plupart des indications qui précèdent pour opérer le chauffage par la houille, peuvent s'appliquer également aux autres combustibles.

Enfin, au fur et à mesure que l'on retire la chaux, on doit remettre sur le four les pierres qui ne sont pas bien calcinées, pour leur faire subir une cuisson complète.

90. Les *fours coulants et à petite flamme* sont toujours à peu près disposés comme les autres; ils sont également soumis, pour les formes, à l'espèce de combustible qu'on doit employer.

Quelques-uns sont élevés en rase campagne, d'autres sont creusés en terre, mais ce cas est fort rare. On donne

généralement beaucoup de largeur au gueulard pour faciliter la manœuvre du chargement.

Voyons maintenant les formes différentes des *fours coulants et à petite flamme* suivant le combustible dont on se sert.

91. *Fours chauffés par la houille.* — Les fours en usage pour chauffer avec de la houille sont extrêmement variables de forme. On peut les diviser en quatre classes : 1° en cônes tronqués et renversés ; 2° en gobelets ou ellipsoïdes plus ou moins tronqués dans la partie supérieure ; 3° en demi-sphéroïdes creux ; et 4° en doubles cônes tronqués, opposés base à base.

Les deux premières formes sont le plus généralement employées ; on en fait usage dans presque tous les pays. Mais parmi ces sortes de fours nous ne citerons que ceux auxquels on doit donner la préférence, parce que les autres en diffèrent très-peu, et que, d'une autre part, il nous est impossible de les faire connaître tous.

On se sert dans plusieurs endroits, près des barrières de Paris, dans la Belgique, dans le pays de Liége et en Angleterre, des fours coulants, semblables ou à peu près semblables à celui indiqué par la figure 15. C'est un cône tronqué et renversé, dans la base duquel on a pratiqué des conduits *c c*, munis de registres ou portes en tôle : ces conduits ont pour objet de fournir l'air nécessaire à la combustion lorsque la grille du foyer est retirée.

Un four de cette nature (fig. 16), établi à Valenciennes, et construit comme ceux de Tournay, est alimenté par le calcaire qui recouvre la houillère, de laquelle il reçoit aussi le combustible : il est d'une grande dimension, et peut fournir, en vingt-quatre heures, 100 hectolitres de chaux.

Il consomme 20 à 24 hectolitres de houille. De telles circonstances sont on ne peut plus favorables sous le rapport de l'économie, et rendent le charbon de terre à un prix bien moins élevé que tout autre combustible, relativement à son pouvoir calorifique. C'est ce qui a

lieu dans beaucoup d'endroits en France, ainsi qu'en Angleterre.

Enfin, la figure 17 est composée de deux cônes tronqués opposés base à base. Dans quelques-unes des localités où l'on en fait usage, on les entoure d'une galerie voûtée, circulaire, qui sert à la fois de magasin et d'abri-vent. Les fours construits sur ce modèle, dans les localités ci-après indiquées, donnent les résultats suivants :

	Mètres cubes de houille.
A Namur, pour obtenir 100 mètres cubes de chaux, on brûle.	18
A Grenoble..	20
A Metz..	20
A Aniche.	24
A Valenciennes, pour la pierre tendre.	20 à 25
Et pour la pierre dure.	30 à 33
A la Gare (Paris) (1).	27 à 28
A Tournay.	27 à 28
Sur les bords de l'Ems.	30 à 36
A Litry.	36 à 37
A Saint-Etienne.	40

Ces rapports sont très-variables ; ainsi que nous l'avons déjà dit, il faut les attribuer autant à la nature du combustible et à celle de la pierre, qu'aux différentes formes des fours employés, et aux soins apportés dans l'arrangement des pierres et dans la conduite du feu.

92. *Des fours chauffés par les bois.* — On donne ordinairement une forme carrée à ces sortes de fours, pour pouvoir les charger plus complétement avec des bûches refendues ou des branchages.

La figure 18 représente celui dont on fait usage à Mon-

(1) Le four qu'on emploie à la Gare, dans Paris, est à très-peu près semblable à celui représenté par la figure 10. La pierre que l'on y calcine vient de Melun ; on y brûle un mélange de houille sèche et d'escarbille provenant des fourneaux de la verrerie.

treuil-sur-Mer; c'est une pyramide carrée et renversée, entièrement enfoncée dans la terre. Le bois se place par couches croisées l'une sur l'autre. Les lits de ce combustible et ceux des pierres ont la même épaisseur : on leur donne ordinairement 10 à 15 centimètres. Le feu, dans ces sortes de fours, va beaucoup plus vite que dans ceux à la houille; on charge de deux heures en deux heures, et les matières se renouvellent toutes les vingt-quatre heures environ. On évalue qu'il faut un stère de combustible pour un mètre cube de chaux.

En Russie, où le bois est plus abondant que partout ailleurs, et conséquemment à un prix très-modique, on fait usage, dans beaucoup de localités, des fours à calcination continue.

Celui indiqué (fig. 19) par M. Raucourt, ingénieur, à qui l'on doit une foule d'expériences intéressantes sur tout ce qui concerne la fabrication de la chaux, a les parois beaucoup moins inclinées que le four de Montreuil-sur-Mer (fig. 18) : sa hauteur est de 2m.60; l'ouverture supérieure, ou gueulard, a 1m.95, et celle de la base, 65 centimètres seulement. On le charge en mettant entre chaque lit de pierres deux couches de branchages croisés l'un sur l'autre : il peut donner 2m.20 à 2m.60 de chaux par jour, et il suffit d'un homme ou d'un enfant pour en faire le service.

Les fours (fig. 18 et 19) que nous avons décrits à l'article précédent, peuvent également servir pour le charbon de bois; nous nous bornerons donc à y renvoyer nos lecteurs, non-seulement pour ce qui concerne leur disposition, mais encore pour ce qui a rapport à la manœuvre.

93. *Fours chauffés par la tourbe.* — On fait indifféremment usage du four (fig. 18) à Montreuil-sur-Mer, et de celui (fig. 19) en Russie, pour le bois, et pour la tourbe, et l'on donne aux couches de ce dernier combustible la même épaisseur qu'à celles de bois, c'est-à-dire, 10 à 15 centimètres.

A Montreuil, il faut 100 mètres cubes de tourbe pour obtenir le même volume de chaux; mais nous ferons remarquer que la pierre y est très-tendre.

MM. Deblinne et Donop ont publié des expériences desquelles il résulte qu'un four qu'ils ont fait construire à Essonne, et dont la forme a beaucoup d'analogie avec la figure 15, leur a offert des résultats tellement désavantageux qu'ils ont dû renoncer à faire usage de la tourbe : 1° comme fournissant environ un tiers de biscuits, c'est-à-dire de pierre cuite à la surface seulement, et dont le noyau intérieur avait besoin d'être remis au four; 2° comme très-difficile à travailler et à recharger à mesure qu'on vide lorsqu'il est une fois en feu, à cause de la fumée épaisse et très-considérable fournie par la tourbe, qu'il faut employer en mottes et non en poussier, pour former les couches intermédiaires et alternatives entre la pierre calcaire qu'il s'agit de calciner; 3° parce que, en plaçant le combustible dans le bas du four, la manœuvre devient trop difficile, et que la chaux se mêle souvent avec le combustible; 4° qu'ayant rétréci le four et cherché à y séparer la pierre calcaire du combustible, au moyen d'une grille placée au-dessus de la tourbe en incandescence, cette méthode leur a également fourni trop de biscuit, et ne leur a paru pouvoir être appropriée qu'à la cuisson de la pierre tendre. Celle qu'ils ont calcinée dans ces fours est très-dure, et ne se calcine même que difficilement avec le charbon de terre, qu'ils ont postérieurement employé pour cuire la pierre calcaire. Ils se sont donc décidés à ne plus employer cette espèce de four comme trop coûteux, en comparaison de celui (fig. 10) dont nous avons déjà parlé, et auquel ils ont accordé une préférence exclusive, parce qu'ils en ont toujours obtenu les résultats les plus satisfaisants, soit sous le rapport de la tourbe consommée pour y calciner la pierre calcaire, soit sous celui de la quantité de chaux obtenue sans mélange d'aucun biscuit, soit, enfin, sous le rapport de la facilité de la manœuvre.

Fours continus à cuvette pour houille maigre.

93 *bis*. Dans certaines contrées on se trouve n'avoir à sa disposition que des houilles maigres (en Vendée par exemple), on a apporté aux fours continus un perfectionnement ingénieux pour utiliser toute la chaleur.

Supposez un four à cuve ordinaire, dont le gueulard est surmonté d'une cuvette séparée du four par une calotte présentant quatre ouvertures. Cette calotte est formée de deux arceaux qui se croisent. Sur la hauteur de la calotte sont quatre ouvertures dites ouvraux et quatre ringardières pour faire pénétrer des ringards jusqu'au centre de la cuvette.

Cette cuvette sert à chauffer les moellons crus avant la cuisson ; par les ouvraux de la calotte, pendant la marche on peut disposer à la surface du gueulard une couche de charbon, et par la portière d'en bas on fait écouler un lit de moellons de la cuvette, en agitant la masse avec les ringards. Le four peut fonctionner d'une façon continue. En réglant convenablement les ouvertures du tirage, on peut amener les gaz à leur sortie à être froids et par suite on utilise toute la chaleur qui eût été perdue.

Des fours de ce système fonctionnent en Vendée, et ont offert une économie de 30 0/0 de combustible et produisent 3,000 hectolitres au lieu de 1,800 par jour.

Un des grands avantages de ce système est de pouvoir être adapté à tout ancien four à cuve.

Four Eldson.

93 *ter*. M. Eldson a proposé un four roulant pour cuire la chaux. Le foyer est au pied du four en *a*, fig. 38 ; on brûle de la houille, et les gaz provenant de ce foyer mélangés avec une plus forte proportion d'air qu'il n'est nécessaire pour leur combustion, passent sur un second

foyer *b* où l'on brûle du coke, et de là dans une troisième chambre *c*, où ils sont mélangés avec de l'air pour obtenir la température voulue. Tous les gaz se rendent ensuite dans le four par une voûte *d*, où la matière calcaire est mélangée avec des parties charbonneuses, dont la combustion assure la calcination.

L'alimentation du four se fait par une trémie *f*, et le vidage par une porte *g*. (Voir fig. 38).

Ces fours sont généralement accolés par paire deux à deux. Ils ont reçu une forme spéciale, la pente est un peu plus grande que celle sous laquelle les matières se soutiendraient. On obtient ainsi un défournement facile, et une marche très-régulière des matières dans le four.

Four à gaz Steinmann.

M. Steinmann a imaginé un four à chaux qui offre les avantages suivants. On peut y employer n'importe quel combustible, on brûle toute la fumée, la chaux n'est mélangée d'aucun corps étranger, on peut en faire varier la production.

Il ne consomme que 25 à 40 kil. de combustible pour 100 kilog. de chaux et peut produire 75 tonnes en 24 heures.

Les fig. 39 et 39 *bis* donnent les détails de ce four. *a* est la cuve, *b* l'étalage où se refroidit la chaux cuite, *g* est le générateur, *f* la sortie des gaz, *e* les canaux de branchement, *c* les tuyères. Le défournement se fait par la base fermée à volonté par un bouchon conique percé de trous pour régler l'introduction de l'air.

Le chargement s'opère dans l'étalage par couche de calcaire et de lits de houille, jusqu'à $0^m.60$ au-dessus des tuyères. On a eu le soin de disposer à la base un lit de fagots, par dessus on charge en calcaire pur. On allume ce feu, et quand la flamme a atteint et dépassé le bas de la cuve on allume le foyer *g*, et continue l'opération indéfiniment.

Le premier défournement a lieu au bout de 3 heures, puis ensuite à 1 heure 1/2 d'intervalle.

Ces fours sont disposés par groupes de 12 avec 6 foyers formant un grand massif hexagonal.

Fours de M. Swann *d'Edimbourg.*

Ces fours ont pour principe l'application du four à circulation. La chaleur passe de la partie inférieure de l'un d'eux dans la partie supérieure du suivant, ce qui donne lieu à une grande économie de temps et de combustible. (Voir fig. 40 et 40 *bis*).

On a prouvé par expérience qu'avec de l'air chauffé à 200°, on assèche un four de 40 mètres cubes de capacité en 12 heures et que la chaux ainsi préparée est de qualité supérieure. On peut en combinant le pétrole ou tout autre combustible liquide avec l'air, arriver à déterminer des températures encore plus élevées.

Ces fours sont disposés par série dans le genre des fours à coke, ainsi que le montrent les figures.

On voit que chaque four a un foyer automobile et qu'une fois la trémie chargée, le feu s'entretient de lui-même, et que la chaux est entièrement distincte du combustible.

On voit aussi dans la coupe comment à l'aide des deux carneaux, on peut soit isoler chaque four, soit les mettre en communication.

M. Swann attribue à ce système une économie de 20 0/0 dans l'emploi du combustible.

Fours à double effet.

94. Dans les fours intermittents ou à calcination périodique, une quantité considérable de chaleur s'échappe par le gueulard pendant tout le temps que dure la cuisson de la pierre. On a cherché à utiliser cet excès de chaleur en l'appliquant principalement à la cuisson de la

brique, de la tuile, etc., pour lesquelles on suppose qu'il faut une température moins élevée que celle exigée pour la calcination de la chaux.

La figure 27 représente un des fours employés dans le Bas-Rhin. On forme d'abord, avec la pierre à chaux, une maçonnerie sèche, en observant que les plus grosses pierres soient d'environ 40 centimètres sur chaque face. On construit, en les arrangeant, trois fourneaux semblables entre eux, qui répondent aux trois gueules, de chacun $1^{m}.45$ de hauteur et 65 centimètres de large, et l'on ne met des pierres que sur 50 centimètres de hauteur au-dessus du fourneau; en sorte que, dans ce four, il n'y a que $1^{m}.95$ au-dessus du sol, le dernier lit doit être bien horizontal et bien uni, pour recevoir les briques que l'on y pose sur la pierre, en les croisant les unes sur les autres; on laisse entre les briques un espace de 15 millimètres pour donner au feu la facilité de monter jusqu'au haut du four, dont on remplit toute la capacité.

Assez ordinairement la calcination et la cuisson durent sept à huit jours. Le feu se fait, dans les vingt-quatre premières heures, avec du vieux bois de chêne qui produit beaucoup de fumée ; ensuite on pousse doucement le feu à un degré plus vif ; on l'entretient dans la plus grande force, cinq jours de suite, avec du jeune bois de chêne; et on finit par un feu clair de bois résineux, pour donner à la matière soumise à la cuisson sa dernière perfection.

Pour calciner 50 mètres de pierres calcaires, et cuire 30 milliers de briques de 32 centimètres de long, 16 centimètres de large, et 68 millimètres d'épaisseur, on consume 161 stères 240 de bois, et l'on obtient 48 mètres de chaux et 30 milliers de briques.

Le mode de cuisson simultanée de la chaux et de la brique n'est pas sans inconvénients lorsqu'elle a lieu dans des fours semblables à ceux que nous venons de décrire. Assez ordinairement les briques et les tuiles prennent une forme irrégulière à cause du dérangement qu'elles

éprouvent lorsque la chaux qui les supporte s'affaisse à mesure qu'elle diminue de volume par un effet de calcination : elles prennent presque toujours une situation oblique, en suivant les divers mouvements de la chaux; et souvent aussi les tuiles se brisent en s'affaissant.

Pour éviter ces inconvénients, on fait usage, dans le département des Deux-Sèvres, de fours (fig. 28) dans lesquels la chaux et la brique sont séparées par un petit mur, en forme de voûte, dans lequel des ouvertures sont ménagées pour livrer des passages à la flamme; mais, comme ce ne peut être qu'aux dépens de l'économie du combustible, nous pensons qu'une grille serait préférable, parce que cet appareil présente plus de jours qu'on ne peut en obtenir dans une construction en maçonnerie.

A Nemours, il existe un four à calcination périodique qui conduit au même but. Sur la plate-forme supérieure (fig. 29) on a construit un autre four dans lequel on place la brique. La flamme ou le gaz hydrogène carboné du premier four sont introduits dans le second par une ouverture latérale voisine du gueulard; et la chaleur y cuit parfaitement, dit-on, les briques ou la tuile soumise à son action.

Quoi qu'il en soit, nous sommes loin de conseiller ces sortes d'opérations, à moins qu'on ne soit en position de calciner et de cuire simultanément une pierre extrêment dure et une brique très-tendre composée avec une argile impure, et dont les constituants soient susceptibles d'une cuite facile et prompte. Sans cette condition, l'on manque évidemment le but qu'on veut atteindre, celui de l'économie, parce que généralement, pour obtenir de bonnes briques, il faut une température supérieure, ou au moins égale à celle qu'exige la calcination de la pierre à chaux ordinaire, et que, hors le cas dont il s'agit, on court les risques d'avoir une chaux trop *calcinée,* attendu que pour atteindre le degré de chaleur qui convient à la cuisson de la brique dure, il faudrait

prolonger inutilement la calcination de la chaux, ce qui pourrait lui faire perdre sa qualité. D'ailleurs, les causes nombreuses et accidentelles qui peuvent accélérer ou retarder la calcination de la chaux, influeront-elles toujours également sur les matières placées dans l'espace que l'excès de chaleur doit traverser ? C'est ce dont nous doutons.

Nous sommes d'avis que ce mode de calcination simultanée ne peut être suivi que dans un très-petit nombre de localités et dans quelques circonstances seulement, et que, en thèse générale, il est prudent de rendre les deux cuissons indépendantes l'une de l'autre.

Toutefois, comme nous reconnaissons qu'il peut être avantageux d'utiliser l'excédant de chaleur qui s'échappe par le gueulard du four, nous conseillons d'employer de préférence des fours coulants ellipsoïdaux, tels que celui fig. 22, auxquels on donnerait plus de hauteur qu'on ne fait ordinairement, et dans lesquels on ne placerait que de la pierre calcaire. On éviterait, par ce moyen, les inconvénients dont nous avons parlé plus haut et auxquels se rattache encore l'embarras d'une double main-d'œuvre dirigée vers un même point.

Fours qui servent à la calcination de la pierre calcaire, à l'aide de la chaleur qui s'échappe dans diverses opérations.

95. La calcination de la pierre calcaire effectuée dans ces sortes de fours n'est, au fond, que l'opération inverse de celle que nous venons de décrire ; mais elle présente au moins des avantages incontestables. En effet, la température nécessaire pour obtenir une brique dure et susceptible de supporter un certain feu sans se fondre ou se gercer, étant de beaucoup supérieure à celle qu'exige la calcination de la pierre calcaire ordinaire, il devient évidemment facile de cuire la chaux avec cet excédant de chaleur. On y parviendrait même dans des circons-

tances moins favorables. Il est un grand nombre d'opérations dans lesquelles on perd une portion assez considérable de chaleur pour pouvoir être appliquée utilement au cas dont il s'agit ; mais il nous suffira de citer quelques exemples de cette application pour faire connaître la marche à suivre en pareille circonstance.

Les opérations qui ont rapport à la métallurgie sont de ce nombre : elles présentent même des avantages supérieurs à plusieurs autres, parce que les fluides aériformes qui se dégagent par les gueulards des fourneaux qui y sont employés, sont composés de gaz inflammables et carbonatés qui s'enflamment et brûlent au contact de l'air, ce qui ajoute beaucoup à la chaleur utilisée.

M. Berthier, ingénieur des mines, a donné sur ces sortes de fours de nombreux détails qui se trouvent consignés dans le 35e volume du *Journal des Mines*.

Nous allons en extraire quelques passages, mais seulement applicables aux fours dans lesquels on ne calcine que de la chaux.

« Un des moyens les plus avantageux, dit M. Berthier de tirer parti de la flamme des hauts-fourneaux et des feux de forge, parce que les constructions qu'il nécessite sont très simples et peu dispendieuses, et parce qu'en même temps qu'il est applicable dans presque toutes les localités, il fournit des matériaux dont on fait un usage général et une grande consommation, et qui sont indispensables pour l'entretien même des usines, consiste à l'employer à la calcination de la chaux. Pour cela, on établit un four ordinaire de forme prismatique, et dont les dimensions doivent être adaptées aux localités, soit sur la plate-forme d'une forge, etc. »

Premier exemple.

Pour premier exemple, nous supposerons qu'un four de ce genre se trouve placé sur un haut-fourneau (fig. 30).

Dans ce cas, « il peut avoir 20 à 25 décimètres dans œuvre ; sa hauteur n'est limitée que par la difficulté qu'il y aurait à le charger ; on lui donne ordinairement 40 décimètres ; le mur de devant rase le bord du gueulard opposé au côté de la charge ; deux petits murs latéraux *a*, placés sur la petite masse à droite et à gauche du gueulard, garantissent la colonne de flamme de l'action des vents, qui, en l'agitant fortement, pourraient déranger son cours. Au reste, cette précaution n'est pas indispensable, et elle devient tout à fait superflue lorsque la plate-forme est couverte. D'ailleurs la flamme suit d'elle-même la voie qui lui est préparée, après quelques minutes de vacillation, pourvu qu'elle ne soit pas contrariée par de trop grands vents. L'ouverture du four *b* est placée immédiatement au-dessus du gueulard : on lui donne 5 décimètres de largeur et autant de hauteur. Elle est garnie d'une plaque de fonte *c*, qui peut se mouvoir verticalement, à peu près comme la porte d'un four à réverbère, et au moyen de laquelle on fait varier à volonté la grandeur de l'orifice. Il y a une ouverture latérale *d* par laquelle on charge le four. Enfin, celui-ci est ordinairement couvert et surmonté de cinq cheminées *e*, une au centre un peu élevée, et une à chaque angle qui consiste dans un simple trou. Ces cheminées servent à accélérer le tirage, et principalement à déterminer les gaz à se distribuer uniformément dans toutes les parties du four.

« On charge à la manière ordinaire, en commençant par placer les grosses pierres calcaires en voûte, puis les pierres menues jusqu'à une certaine hauteur. Il est essentiel que cet arrangement soit fait avec soin et que les morceaux de pierre à chaux ne soient pas trop petits et trop pressés les uns contre les autres ; car il arrive que la flamme se porte de préférence dans les parties où elle trouve le moins d'obstacle, et pénètre à peine dans d'autres, d'où il peut résulter une cuisson très-inégale et imparfaite.

Mise en feu. — « Lorsqu'un four est rempli et qu'on

veut le chauffer, on lève la plaque de 5 à 6 centimètres ; une portion de la flamme y pénètre rapidement et prend bientôt un cours réglé. On maintient ainsi ce qu'on appelle le *petit feu*, pendant vingt-quatre à trente-six heures; puis on élève peu à peu la plaque de fonte, jusqu'à ce qu'elle laisse un orifice de 16 à 20 centimètres de hauteur; la colonne de flamme s'introduit tout entière par cet orifice, et on a alors le *grand feu*, qui dure trois ou quatre jours. Le four ne tarde pas à parvenir au *maximum* de chaleur, et devient rouge-blanc. On a remarqu que, lorsqu'on élève la plaque davantage pour recueilli quelques filets de flamme qui s'égarent quelquefois, la température, loin d'augmenter, s'abaisse sensiblement parce qu'il s'établit un courant d'air très-rapide qui pénètre dans le four et le refroidit.

Durée de l'opération. — « Au bout de cinq ou six jour au plus, l'opération est terminée, de manière que l'o peut faire quatre ou au moins trois fournées par mois La marche du haut-fourneau ne souffre en rien du travai des chaufourniers; ceux-ci manœuvrent derrière la petit masse, et ne gênent en aucune manière les chargeurs qu sont devant le gueulard.

Produits. — « Un four de cette nature, établi à Vierzon, dans le département du Cher, contient quatre-vingt poinçons de chaux. On paie généralement les ouvriers prix fait; on leur donne, terme moyen, 1 fr. par poinço de chaux; la même mesure ne revient pas au propriétaire à plus de 1 fr. 50 c. ou 2 fr., selon la proximité de carrières. Le bénéfice dépend du prix de la chaux; ell vaut souvent, près des usines et des villes, 4, 5, et mêm 6 fr. Les maîtres de forges la vendent à un tiers au-dessous du cours, et le gain qu'ils en retirent est encor tel, que quelques-uns, placés dans une situation favorable pour le débit de la chaux, se sont fait ainsi, sans ri que et sans embarras, un revenu annuel de 3,000 fr. »

Economies. — M. Berthier estime que cette opératio économise 12 à 15 stères de bois.

Le four dont nous venons de parler peut également servir pour cuire simultanément de la chaux, des briques ou des poteries, et à cémenter divers métaux. On trouvera, à cet égard, de nombreux détails dans le volume précité, où M. Berthier a aussi décrit des fours semblables établis sur une forge, etc.

M. Berthier ajoute qu'on peut varier de mille manières l'emploi de la flamme d'un haut-fourneau, d'une forge ou d'un foyer quelconque, pour cuire de la chaux.

Deuxième exemple.

Le mode de calcination décrit ci-dessus pourrait même se faire à l'aide d'un four *continu*. « Le travail en serait très-facile et l'opération fort rapide ; outre l'économie du combustible, il y en aurait une probablement très-grande dans la main-d'œuvre. La figure 31 donne une idée de la disposition qu'un tel four pourrait avoir. On l'a fait ovale pour profiter de toute la capacité de la cheminée ; mais sa forme et sa grandeur devraient varier selon les localités. Les gaz, après s'être enflammés à l'entrée du canal *a*, pénétreraient dans le four par ce canal : un courant d'air qu'on ferait affluer par l'ouverture *b*, et dont on réglerait la force à volonté, après s'être échauffé en traversant une partie des matières calcinées, achèverait la combustion dans l'intérieur. On jetterait la chaux concassée en morceaux de grosseur moyenne, par l'œil *c*, auquel on parviendrait par une rampe ou autrement ; on la retirerait par la porte *b* à des intervalles que l'on déterminerait par quelques expériences, et on la laisserait refroidir sous la voûte *d*.

« Ce four peut également servir au grillage de minerais simultanément avec la calcination de la pierre à chaux. »

Troisième exemple.

Enfin nous allons passer à un troisième exemple, ma nous le puiserons chez l'étranger.

En Angleterre, où l'on fait une très-grande consomm tion de coke, on calcine aussi la pierre calcaire par l'e cédant de chaleur qui provient de la préparation de combustible. Cette opération, dont l'invention est due M. Ch. Heathom, de Maidstone, est fort simple elle-mêm et présente de très-grands avantages sous le rapport l'économie, non seulement parce que la portion de houille destinée à former le coke sert par sa combusti à cuire la chaux, mais encore parce que l'augmentati du volume de la houille réduite en coke donne à ce de nier une valeur vénale équivalente à peu près à celle la houille dont il est tiré, de sorte que les frais de double préparation de la chaux et du coke sont telleme diminués, qu'on pourrait dire qu'ils sont presque nu

La figure 32 représente le four employé à cette doub opération. On en trouve aussi la description dans le des *Annales de l'Industrie* (avril 1827) ; mais, comme plan n'a pas été indiqué, nous avons cru devoir le donn ici pour rendre plus intelligible tout ce qui peut facilit sa construction.

Les fourneaux à coke (il peut y en avoir deux ou u plus grand nombre) sont construits comme on le voit A A. Ils sont accolés au four à chaux, avec lequel ils cor muniquent par des ouvertures *b b* ; et ils sont entreten de houille par des ouvertures ou gueulards *c c*, prat quées dans le mur de face, et fermées par des portes fer. Ces portes ont dans leur partie supérieure une o verture horizontale, longue et étroite, par laquelle ent l'air atmosphérique nécessaire à la combustion des parti bitumineuses et inflammables de la houille. Les flamm qui s'en échappent passent dans le four à chaux par u suite d'ouvertures *b b*, et pour empêcher le tirage d'u

ôté d'arrêter la combustion dans le fourneau du côté
pposé, un mur de séparation se trouve élevé dans le
ilieu du four à chaux, ainsi qu'on le voit en *d*, ce qui
orce la flamme et la chaleur à se porter dans toute l'é-
endue de la masse de la pierre à chaux. La portion d'en
as de cette chaleur atteint un très-haut degré de cha-
ur, et la pierre du haut est chauffée au rouge cerise;
d' sont les murs des côtés de la tour rectangulaire qui
ontient la pierre à chaux, depuis le haut jusqu'aux barres
e fer *e e*, qui forment la grille portant toute la masse.
es murs ont 12 décimètres d'épaisseur. La pierre à chaux
st élevée au haut du four, dans des paniers *f*, et au
oyen de poulies placées en arrière du four; une plate-
rme se trouve dans cette partie pour faciliter le service.
Quand le four à chaux est complétement chargé, on
ouche la voûte du cendrier qui se trouve sous la grille,
it avec des briques, soit avec une caisse en fer remplie
sable, afin d'empêcher tout accès à l'air, et pour qu'il
se perde pas de chaleur par le rayonnement; et, lors-
ie l'opération est en train, il ne doit arriver d'air at-
osphérique que par les ouvertures étroites au-dessus
s portes des fourneaux à coke.

Après la calcination des deux tiers environ de la masse,
retire la barricade dont nous venons de parler, ainsi
ie quelques-unes des barres mobiles *ee*, de manière à
ire descendre la chaux; on l'enlève ensuite avec des
ouettes, par la rampe *g*, pratiquée à cet effet, et l'on
charge immédiatement après. Des ouvertures *h h* sont
énagées de distance en distance dans les murs latéraux;
ur objet est de faciliter l'affaissement de la chaux, ce
ii se fait en ouvrant les portes en fer qui bouchent ces
vertures, et en y introduisant des outils convenables
ur remuer la chaux et la forcer à descendre. D'autres
vertures semblables sont faites en *kk*, aux fourneaux
coke, pour pouvoir dégager facilement les conduits
éraux *bb* de tout ce qui pourrait empêcher la libre
culation des flammes.

Enfin, le coke se retire des fourneaux par les portes (devant.

Le temps moyen pour cuire la chaux est à peu près même que dans les autres fours.

Fours à deux foyers superposés.

96. Nous avons parlé (nº 49), à propos *de la cuisson la pierre à chaux*, de l'alternative dans laquelle on trouve de brûler trop de combustible ou de s'exposer faire fritter ou vitrifier la chaux déjà formée à la supe ficie de la pierre si, au lieu de ralentir le feu, on poussait toujours en augmentant pour expulser l'aci carbonique qui reste au centre de cette pierre.

On a indiqué un moyen d'obvier à cet inconvénient disposant les fours de manière à pratiquer deux foyer l'un à la base, comme d'habitude; l'autre à peu près au deux tiers de la charge, en dehors de la paroi extérieu du four, à la manière des alandiers dans les fours à po celaine. On chaufferait d'abord par le foyer inférieur av toute la vivacité possible, et quand on jugerait la pier suffisamment calcinée jusqu'à hauteur de la seconde co che, on interromprait le feu dans le bas en alluma l'alandier supérieur. L'intérieur du fourneau étant dé très-échauffé, il n'y aurait aucune précaution à prendr le feu gagnerait très-vite le gueulard, et on pourrait l donner la plus grande intensité, pour achever rapid ment la calcination dans la partie haute du fourneau.

On croit, peut-être avec raison, que l'on obtiendrait la fois économie de temps et de combustible.

M. Petot, qui a publié un ouvrage sur la chaufourneri propose d'adopter des fours à plusieurs compartimen comme celui de la figure 43; les différentes courbur adoptées sont le résultat de considérations théoriqu vérifiées par l'expérience. Le foyer principal est placé la partie inférieure de la première capacité : un secor foyer se trouve ménagé au bas de la capacité supérieur

Cette disposition produit, à ce qu'on dit, une économie de combustible d'un cinquième environ. Cette forme particulière produisant surtout d'excellents résultats, quand on veut utiliser, pour la cuisson de la brique, le compartiment supérieur. Les deux compartiments se raccordent alors (fig. 43 *bis*) par une surface continue, et ne sont séparés que par une légère voûte à claire-voie.

Ces fours sont à cuisson intermittente, ainsi que ceux dont il va être parlé immédiatement.

Fours à compartiments.

97. M. Vicat a proposé, pour la cuisson de la chaux, les fours à compartiments (fig. 51 et 52). On allumait le feu dans le compartiment *a*, je suppose; puis on allumait le compartiment *b*, et on laissait éteindre le premier; enfin, on mettait le feu dans le troisième foyer, quand on jugeait à propos de ne plus entretenir le second. Il résultait de cette disposition que la chaux qui était exposée le plus à l'action du feu, n'y restait soumise que le tiers du temps, tandis que la chaux éloignée des foyers recevait la chaleur pendant tout le temps de l'opération. Cette forme de four n'est toutefois que rarement employée. (Mangon.)

Règles générales d'après lesquelles les fours à chaux doivent s'établir.

98. 1° Les parois des fours, ainsi que leurs foyers, doivent être construits en briques réfractaires de bonne qualité et en mortier de terre à four. Toute économie à cet égard est une erreur.

Le reste de la maçonnerie peut se faire en briques ordinaires ou en pierre.

2° Dans les fours à calcination périodique à grande flamme, la hauteur totale du vide intérieur doit être telle que la température de la chaleur au gueulard soit,

autant que possible, rigoureusement celle qu'il est in dispensable d'avoir pour calciner les morceaux de pierr qui s'y trouvent logés. Cette hauteur comparée au plu grand diamètre, est ordinairement comme 2 est à 1.

3° Ce rapport est aussi le même dans les fours à cal cination périodique à petite flamme : mais on pourra le fairé varier sans inconvénient.

4° Dans la plupart des fours coulants dont on fa usage, le rapport qui existe entre la hauteur du vid intérieur et le diamètre moyen, est à peu près le mêm que pour les fours à calcination périodique. Nous n doutons pas, cependant, qu'il n'y aurait un grand avan tage à leur donner au moins trois, quatre et jusqu'à cin fois plus de hauteur que de largeur (voyez le four fig. 32) attendu que, dans ce cas, toute la chaleur développé se trouve employée, soit pour calciner les pierres le plus voisines du foyer ou en contact avec le feu, soi pour échauffer préalablement celles qui se trouvent pla cées dans la partie supérieure en attendant qu'elles puis sent recevoir, à leur tour, le degré de chaleur convenable à leur cuisson. Ce principe peut être appliqué à toutes les espèces de fours coulants.

5° Dans les fours à calcination périodique, l'orifice su périeur doit avoir le tiers au plus du grand diamètr intérieur, et la gueule du foyer, le quart environ en hauteur et en largeur.

6° Dans ceux à calcination continue, l'orifice supérieur peut avoir cinq fois le diamètre de l'ouverture inférieure, lorsque ces fours n'ont pas une forme autre que celle d'un cône tronqué; et l'on donne ordinairement à l'ouverture inférieure 50 centimètres environ de diamètre.

7° L'épaisseur des murs doit varier en raison de leur développement, et surtout en raison de la hauteur totale des fours. Mais nous ne conseillons point, à cet égard, l'économie dans toute l'acception du mot; car les *minimum*, en matière de constructions, confirment rare-

nent, par leurs applications, les brillantes théories sounises au calcul. Des faits, constatés par l'expérience, ious paraissent devoir mériter au moins autant de coniance : et, dès-lors, sans chercher à établir de compaaison rigoureuse entre telle partie d'un four et telle paisseur de mur, nous renverrons aux constructions lont l'usage a démontré la bonne disposition. Or, les ours que nous avons déjà cités comme étant les meileurs, se trouvant précisément dans le cas dont il s'agit, ous croyons ne pouvoir mieux faire que de les indiuer comme devant servir d'échelles comparatives.

8° La seule dimension qui ne soit pas variable, c'est elle de la chemise formant la paroi intérieure du four, t à laquelle on donne ordinairement une brique d'éaisseur, à moins, cependant, que toute la construction e soit faite avec cette espèce de pierre factice.

9° L'un des moyens les plus efficaces pour prévenir le efroidissement qu'occasionne toujours l'air environnant ur la surface extérieure des fours, c'est de les enterrer rofondément comme quelques-uns de ceux dont nous vons parlé, ou d'y accoler d'autres constructions, telles ue des magasins propres et utiles à l'exploitation. Mais, ependant, comme de certains cas n'admettent pas touours de pareilles dispositions, on peut arriver à peu rès au même but en réservant des vides *d d* (fig. 22) t *d' d'* (fig. 24), dans l'épaisseur de la maçonnerie, que on remplit de sable ou de cendres au fur et à mesure ue la construction s'élève, parce que ces matières inerceptent les infiltrations du calorique, dont elles sont eu conductrices.

10° Lorsque les murs d'enveloppe sont ainsi disposés, t, en général, lorsque les fours sont entièrement établis ors de terre et isolés, il est indispensable de les fortifier ar des ferrements, tels que des ancres, des plates-banes, etc. Cette précaution est d'autant plus importante ue la force expansive du calorique tend constamment les désunir, et, conséquemment, à les renverser.

11° Les dimensions totales des fours sont égaleme soumises à de certaines limites qu'il convient de ne p dépasser : à cet égard, nous donnerons les figures 10, 1 22 et 32, comme des *à peu près* qui pourront servir termes de comparaison. Toutefois, les principes d'apr lesquels les fours doivent être établis ayant essentiell ment pour objet l'économie du combustible et du temp considérée par rapport aux différentes méthodes mis en usage, nous pensons, sans cependant conseiller l'abu que cette double condition sera d'autant mieux rempli que les fours seront d'une plus grande capacité. No basons cette assertion sur ce que, plus le calorique au de jeu, plus il pourra se mouvoir d'une manière utile applicable à l'effet que l'on cherche, avant qu'il ne s' chappe du four, et sur ce que le développement des p rois, qui absorbent toujours une certaine quantité d calorique que l'on veut communiquer à la pierre ca caire, est proportionnellement moins grand dans un fo un peu vaste que dans celui d'une petite dimension aussi les grandes exploitations l'emporteront-elles to jours, sous ce rapport comme sous beaucoup d'autre sur celles d'une minime importance.

Telles sont les règles principales d'après lesquelles l fours à chaux doivent être établis. Elles peuvent suffi dans toutes les circonstances qui pourront se présente car, indépendamment des notions qu'elles fournissen elles complètent ce que les dessins expriment, d'ailleur à d'autres égards, et au sujet desquels nous sommes en trés dans plus ou moins de détails, en parlant de chaq espèce de four en particulier.

Considérations sur les différents systèmes de fours à chaux.

99. Quand on veut établir un four à chaux, on do naturellement donner la préférence à celui qui sembl le plus avantageux. Pour décider son choix, il faut pre

tre en considération les habitudes du pays, la nature du calcaire, la qualité de la chaux, le prix du combustible, etc.

Au point de vue général, on a cru pouvoir accorder à quelques-uns des fours dont nous avons parlé l'ordre de primauté suivant :

1° Les fours qui seraient chauffés par la chaleur perdue d'un autre four quelconque, comme celle d'un haut-fourneau, par exemple. Dès l'année 1809, M. Aubertot, maître de forges de la Nièvre, utilisa la chaleur perdue de ses hauts-fourneaux et de ses feux d'affinerie pour la cuisson de la chaux.

2° Les fours dont on utilise l'excès de chaleur, ou servant à la fois à la calcination de la pierre calcaire et à quelque autre usage (1).

3° Les fours à calcination continue. Cette méthode mérite la préférence, parce que la maçonnerie des fours conserve toujours sa chaleur, ce qui économise le combustible qu'il faut consommer à chaque fournée pour réchauffer les fours intermittents. On préférera les fours continus à grande flamme, c'est-à-dire ceux où le combustible est séparé de la pierre calcaire. On peut prendre pour type le four fig. 22. Voir aussi celui (fig. 24) imaginé par Rumford, et celui (fig. 44 à 48) employé à Rudersdorff.

4° Les fours à calcination continue à *petite flamme* (ceux ci-dessus sont à grande flamme). La forme conique renversée (fig. 15 et 16) convient mieux que les autres, en ce que les charges alternatives de pierres et de combustible, diminuant de volume à mesure qu'elles se calcinent et se brûlent, concentrent le calorique, en se resserrant, de manière qu'aucune pierre n'échappe à son action. De plus, le service de ces fours se fait avec facilité, et, quand on retire la chaux par le bas, on a moins à craindre des éboulements trop forts.

(1) Il est rare que l'idée des fours à double effet soit bonne. Il faut s'en méfier.

5° Les fours à calcination périodique viennent ensuit Le four à grande flamme (fig. 10), où le combustible e séparé du calcaire, ne devra avoir la préférence sur l fours intermittents à petite flamme, que quand la pos tion ne permettra pas de se procurer les combustibl qui conviennent spécialement à ce dernier mode c cuisson.

6° Enfin, viennent les fours intermittents à petit flamme. Les meilleurs sont ceux de forme cylindrique la construction en est facile; ils concentrent suffisam ment le calorique; les couches stratifiées sont égale et, par conséquent, la cuisson se fait uniformément par tout.

Nous ne pouvons pas expliquer les avantages et le inconvénients de chaque espèce de fours ou de chaqu four en particulier, à cause de la différence énorme qu l'on observe dans les quantités de combustible consomm avec des fours d'une construction semblable ou à peu près.

Ces différences sont attribuées, en grande partie : 1° à la nature des pierres; 2° à leur grosseur; 3° à la ma nière de les arranger dans le four; 4° enfin, à la natur du combustible et à la façon dont on l'évalue dans chaque pays.

Pour comparer utilement entre eux, avec certitude, les avantages pratiques des formes et des dimensions différentes des fours, il faudrait que les expériences se fissent dans un même lieu, avec la même pierre et avec le même combustible. Et encore les expériences ne seraient-elles concluantes que relativement à la localité dans laquelle elles se feraient, et nullement pour les pays où le combustible et le calcaire ne seraient plus les mêmes.

Un four dont le gueulard est très-petit peut présenter des avantages, parce qu'il se perd moins de chaleur par cette ouverture et qu'on peut facilement la boucher pour l'éteindre. On profite ainsi de la chaleur qui reste concentrée dans l'intérieur. Cependant quelques auteurs,

tout en convenant que cette ouverture présente peu de surface au contact de l'air et diminue le refroidissement que ce contact occasionnerait, pensent qu'elle offre l'inconvénient d'obliger l'air et la chaleur à se diriger vers l'axe du four; ce qui, selon eux, contrarie la calcination des pierres placées près des parois; en sorte qu'ils préfèrent donner au gueulard une disposition analogue à celle indiquée par les figures 3, 4, 5, 6, 7 et 8. Mais cette préférence, toute judicieuse qu'elle semble au premier abord, n'est pas fondée. L'inconvénient dont il s'agit n'est qu'apparent, car, par leur disposition, les pierres qui sont dans le four, opposent de tous côtés des obstacles à la flamme, qui l'obligent à se répandre, à travers les interstices, dans toutes les parties du four avant que d'arriver au gueulard. D'ailleurs, l'inconvénient qu'on suppose n'est peut-être pas comparable à celui d'une grande perte de calorique jointe à la main-d'œuvre qu'il faut pour faire et défaire, avant et après la cuisson, la couche en terre qui recouvre les pierres. Enfin, il faut remarquer que les fours dont les gueulards sont petits, ont beaucoup plus de hauteur que de largeur, et que, par conséquent, la chaleur rayonne toujours très-facilement dans toutes leurs parties.

CHAPITRE VI.

Matières hydrauliques.

100. Rappelons d'abord et comparons les matières que renferment la pouzzolane, la chaux hydraulique et le ciment :

MATIÈRES HYDRAULIQUES.		COMPOSITION sur 100 parties : Chaux.	Magnésie.	Oxyde de fer	Argile.	ÉLÉMENTS DE L'ARGILE.		
Pouzzolane.		05	»	20	75	Argile	silice.	35
							alumine.	40
Chaux hydrauliques	de Chanay.	84	2.5	»	13.5			
	de Nîmes.	82.5	4.1	»	13.4			
	de Metz.	68.3	2	5.7	24	Argile	silice.	17
	de Sénonches.	70	1	»	29		alumine.	11
Ciments	anglais.	55.4	»	8.6	36		eau.	1
	de Boulogne-sur-Mer.	54	»	15	31			
	de Russie.	62	»	»	38			

Pour employer la pouzzolane, il faut la mélanger avec
e la chaux. On peut mettre d'autant plus de pouzzolane
ue la chaux est plus grasse. A mesure que la chaux est
oins pure, il faut diminuer en proportion la quantité
e pouzzolane.

La chaux de Chanay (moyennement hydraulique) ne
it prise qu'après 15 à 20 jours, et ne devient jamais
ès-dure; la chaux de Nîmes (hydraulique) fait prise du
xième au huitième jour et présente une résistance re-
arquable après 6 mois d'immersion; les chaux de Metz
de Sénonches (éminemment hydrauliques) font prise
u deuxième au quatrième jour et acquièrent la dureté de
pierre après six mois d'immersion.

Les ciments font prise comme le plâtre, en quelques
inutes.

Comme nous savons que le calcaire pur, ou, quand il
t impur, ne peut donner, s'il ne contient pas d'argile,
ue de la chaux aérienne, c'est-à-dire qui ne durcit qu'à
ir et non sous l'eau; et, comme nous voyons, par le
bleau ci-dessus et les observations qui suivent, que
ydraulicité de la chaux devient d'autant plus grande
ue la proportion d'argile augmente, il nous est facile de
onclure que cette propriété n'est due qu'à la présence
e cette matière.

Avant la connaissance des propriétés hydrauliques des
lcaires argileux, on ne pouvait se servir que de mor-
ers de chaux grasse et d'une espèce de pouzzolane
uelconque, quand les constructions devaient être sub-
ergées.

En 1756, Smeaton, en observant le premier que la
haux provenant de calcaires argileux avait une pro-
riété qui permettait de s'en servir dans l'eau, ouvrit
ne voie nouvelle aux recherches sur les matériaux hy-
rauliques.

En 1796, MM. Parker et Wyats prirent à Londres un
revet pour l'exploitation d'un calcaire très-argileux,
oué à un plus haut degré que la chaux de propriétés

hydrauliques, mais qu'il fallait pulvériser comme plâtre, auquel il donnèrent le nom emphatique et f de *ciment Romain.*

Etudions maintenant chacune de ces substances d' manière spéciale.

Pouzzolane naturelle ou volcanique.

101. Dans les chaux hydrauliques et les ciments n rels ou factices, l'hydraulicité est produite par l'addi d'une certaine quantité d'argile à de la chaux, et deux matières sont unies, ne forment qu'un corps, av d'être délayées dans l'eau. Les pouzzolanes, au contra se *mélangent à froid, par la voie humide*, avec de la ch grasse, pour former un mortier analogue à celui q obtient avec la chaux hydraulique ou le ciment.

La pouzzolane est une substance volcanique. Elle fecte toutes sortes de couleurs, et principalemen rouge-violet. On la trouve ordinairement à l'état poussière mélangée de parties plus grossières et po ses, assez semblables à la pierre-ponce. Elle tire son de Pouzzoles, ville d'Italie aux environs de laquelle fut employée pour la première fois par les Romains.

On a cru pendant longtemps que la pouzzolane n'e tait que dans la localité que nous venons de citer, a toute celle dont on se servait en France pour les trav de nos ports, et chaque fois que l'on avait besoin mortier hydraulique, en arrivait-elle à grands f Mais les environs de Rome en fournissent égalemen le naturaliste Faujas de Saint-Fond a démontré qu'i existe en France, ce que beaucoup de personnes ont reste, reconnu depuis lui. Ainsi on en trouve dan départements du Puy-de-Dôme, du Cantal, de la Ha Loire et de la Haute-Vienne. On rencontre la pouzzo dans les terrains volcaniques brûlants et les terrains caniques à cratères. Souvent il en existe des couches ou moins puissantes, soit au pied des coulées de l

oit entre les couches de deux coulées successives. Ceraines laves poreuses peuvent elles-mêmes servir comme ouzzolanes après avoir été réduites en poussière.

D'après l'origine présumée des pouzzolanes, ces subsances ont dû varier, non-seulement en raison des diers degrés d'activité du feu, mais aussi d'après les ompositions des matières brûlées, le plus ou moins de emps qu'elles sont restées à l'action des agents de la ature, et, enfin, par le mélange avec d'autres matières trangères, telles que la terre végétale, les sels que l'eau harrie, etc. De là, sans doute les différences, non-seuement entre les pouzzolanes provenant de tel ou tel eu, mais souvent aussi dans une même pouzzolane, elon le point où elle est prise, la profondeur d'où elle été extraite et une infinité de causes locales ayant lus ou moins d'effet. Les pouzzolanes sont caverneuses, est-à-dire qu'elles ne sont pas compactes. Outre la ouleur rouge-violet, il y en a des variétés depuis le oir jusqu'au brun; elles passent au jaune et même au ouge suivant les quantités d'oxyde de fer qu'elles renrment. Les pouzzolanes sont des composés de silice et 'alumine combinées ou mélangées avec un peu de chaux, quelquefois de potasse, de soude, de magnésie et de r. Elles renferment en outre du peroxyde de fer simement mélangé. L'analyse chimique des différentes pèces de pouzzolanes donne des résultats qui, quoiue analogues par la nature des composants, diffèrent nsiblement par les proportions. L'analyse qui a été onnée en tête de ce chapitre est due à M. Berthier.

M. Berthier, jugeant de la nature des pouzzolanes par lle des roches volcaniques les plus communes, croit u'elles doivent contenir beaucoup de silice combinée ec l'alumine et avec la potasse, et, en outre, un ménge de minéraux divers, et surtout de fer.

D'après M. Gay-Lussac, les laves vomies par les volns sont essentiellement composées de silice, d'aluine, de chaux, de soude et d'oxyde de fer.

En voilà suffisamment sur la nature de la pouzzola naturelle, surtout en raison de son analogie avec les a tres matières hydrauliques dont nous nous occupo sauf les proportions de chaux et la manière de l'employ et nous pouvons maintenant terminer par quelq mots sur la réduction en poudre de cette substance.

102. On doit toujours, dit M. Mangon, réduire les pou zolanes en poudre avant de les employer. Leur act est d'autant plus énergique, toutes choses égales d'a leurs, que leur pulvérisation est plus parfaite. Ce opération s'exécute assez facilement au moyen de m les verticales tournant dans une auge circulaire. O proposé l'emploi de cylindres cannelés tournant les u contre les autres, ou bien une espèce de grand mou à café formé d'une noix conique en fonte tournant d un vase du même métal. Ces appareils, assez satisf sants en théorie, donnent de mauvais résultats pratiq parce qu'il arrive toujours, malgré les soins apporté écarter l'humidité et les autres accidents, que les c nelures se remplissent de la matière, de sorte qu'ap quelque temps on n'a plus qu'un laminoir qui ne *m* plus du tout la pouzzolane.

Autrefois, on expédiait d'Italie la pouzzolane en fr ments ; on commence aujourd'hui à la pulvériser d près les conseils de M. Poirel, ingénieur des travaux port d'Alger, qui se trouve forcé d'en consommer grande partie au commencement de son service. La p vérisation effectuée en Italie, dans des ateliers spécia doit certainement coûter moins cher que partout leurs ; cependant nous conseillerons toujours aux p sonnes qui auront à employer de la pouzzolane d'It de la demander en fragments. Car une fois réduite poudre, il est facile de la falsifier, et la fraude se alors assez difficile à reconnaître.

Nous allons maintenant parler du *terrasse de Hollan* qu'on peut considérer comme une véritable variét pouzzolane naturelle, qui a une certaine importan

uis nous nous occuperons des pouzzolanes artificielles, la suite desquelles nous mentionnerons plusieurs maères, naturelles ou artificielles, qu'on peut employer la manière de la pouzzolane pour former des mortiers ydrauliques.

Trass ou Terrasse de Hollande.

103. Le *trass* se tire des environs de Brohl, près d'Anernak. Il doit être bien fin, sec, et non mélangé de ubstances étrangères.

Le *trass* ou *terrasse* de Hollande est une substance olcanique tirée en rognons des pays voisins du Rhin. l n'est pas aisé de reconnaître la pureté du trass en oudre : il est en général d'une couleur gris rougeâtre ; ris dans la main et fortement comprimé, puis plongé insi dans l'eau, il ne doit pas laisser de poussière à la urface ; quand on retire la main de l'eau, il ne doit as se délayer; mais rester en masse. Au reste, le meileur moyen de l'éprouver est d'en faire du mortier, en nélangeant une partie de trass, 1,50 de chaux commune, nesurée vive, et 0,50 d'eau. Ce mélange doit durcir promptement sous l'eau, si le trass est de bonne qualité (1).

Mais il est préférable de faire venir le trass en blocs de pierre (moellons d'Andernak), et de le moudre sur es lieux où on l'emploie. (Voyez la *description d'un moulin propre à le moudre*, dans le *Journal de Physique* de Rozier, mars 1779, et dans un mémoire de M. Desmarest sur les pouzzolanes d'Italie et de France.) C'est la seule manière de ne pas être trompé sur cette matière, tant

(1) En Hollande, pour vérifier la qualité du trass après sa pulvérisation, et reconnaître s'il n'est pas mélangé avec sa poudre à de la chaux, on prend un vase que l'on remplit d'eau, et si, après trois jours le vase n'a pas laissé paraître de filtration, on le reçoit comme de bonne qualité, sinon il est rejeté, et ne peut être introduit dans le pays.

pour la quantité que pour la qualité, car l'expérien
prouve que si l'on prend du trass bien sec, et qu'on
mouille de manière à lui rendre l'humidité qu'il a ordi
nairement lorsqu'on le reçoit en sortant du bateau,
augmente d'environ cinq seizièmes de son volume et d
deux septièmes de son poids.

L'analyse du trass donne sur 100 parties :

Alumine.	28.00
Silice.	57.00
Carbonate de chaux.	5.60
Fer.	8.50

D'après les expériences de M. le général du géni
Treussart, si l'on prend les substances ci-dessus dan
les mêmes proportions, et que l'on en fasse une pât
avec un peu d'eau, puis qu'on fasse calciner le tout dan
un fourneau à réverbère en tenant ces substances pen-
dant six heures à une chaleur rouge, on obtiendra u
trass artificiel supérieur au trass naturel d'Andernak.

Pouzzolanes artificielles.

104. La pouzzolane naturelle mélangée *à froid* avec l
chaux grasse donne du mortier hydraulique, comme il
déjà été dit. On a imité cette matière, ou plutôt on l'
remplacée par plusieurs autres, dont nous allons succes-
sivement nous occuper.

Je crois que c'est M. Treussart, général du génie, qu
a essayé un des premiers à faire de la pouzzolane de tout
pièce. Il a observé qu'en formant avec un peu d'eau, une
pâte des substances qui constituent la pouzzolane natu-
relle, et dans les mêmes proportions, et calcinant cette
pâte pendant six heures, à la chaleur rouge, dans un
fourneau à réverbère, on obtenait une pouzzolane arti-
ficielle supérieure à la pouzzolane naturelle, ainsi qu'au
trass et au terrasse de Hollande.

On donne le nom de *pouzzolanes artificielles*, par ana-

gie, à toutes les substances qui peuvent, par une préparation convenable, former avec de la chaux grasse, et la manière de la pouzzolane naturelle, un mortier susceptible de durcir sous l'eau.

Ces matières sont assez nombreuses, mais nous ne nous cuperons pour le moment que de l'*argile cuite*. Les tres matières, qui sont employées d'une manière anague, et qui ont moins d'importance, se trouveront menonnées ensuite.

Les *argiles*, composées, comme on sait, de silice et d'amine et plus ou moins mélangées de carbonate de chaux d'oxyde de fer, se transforment en excellentes pouzlanes par l'action d'une calcination convenable.

La cuisson de l'argile peut s'exécuter de différentes anières :

Le premier moyen qui se présente consiste à la réduire poudre et à la faire rougir sur des plaques en fer posées à l'action du feu. On remue sans cesse la matière our que toutes les parties atteignent la même tempéture. L'expérience indique bientôt le temps nécessaire la température la plus convenable. Ce procédé, dit . Mangon à qui nous empruntons ce passage, ce procédé a pas encore été employé dans les arts ; ce serait le eilleur si on pouvait le rendre économique. On arriveit probablement à ce résultat par l'emploi d'un cylindre fonte chauffé extérieurement et animé d'un mouveent de rotation sur son axe. L'argile introduite à l'une es extrémités du cylindre sortirait à l'autre extrémité lcinée aussi uniformément que possible. Cette dispositon a déjà été employée par un fabricant de Saône-et-oire; mais il n'a pas donné suite à ses expériences à ce ujet. Il est de fait que, du premier aperçu, on s'explique ue ce moyen doit être impraticable, quand il faut agir ur des quantités considérables de matières, qui ne sont as d'un prix très-élevé.

Il est bien constaté, ajoute M. Mangon, que le contact e l'air pendant la cuisson des matières pouzzolaniques

développe singulièrement leurs propriétés. La nature
cette action n'est pas parfaitement expliquée; mais
n'en est pas moins vrai que l'on doit tenir compte
ce fait. Il convient donc de rendre les argiles, avant le
cuisson, le plus poreuses possible. On peut obtenir
résultat en les mélangeant avec du sable quarzeux; m
ce moyen présente l'inconvénient d'altérer la pur
des pouzzolanes obtenues. Il vaut mieux mêler l'arg
avec des matières combustibles, de la sciure de bois,
la paille hachée ou de la balle de blé. Le plus souvent,
ne prend aucune de ces précautions : on se contente
diviser l'argile en fragments gros comme des œufs et
la soumettre, dans cet état, à une température conven
ble. La méthode généralement employée pour la cuiss
des argiles à pouzzolanes, consiste à les placer à la par
supérieure des fours à chaux. La violence des courar
d'air qui existent dans ces appareils favorise beauco
la transformation de l'argile en pouzzolane. Dans u
fabrication de quelque importance, l'emploi des fours
réverbères produit d'excellents résultats.

M. Petot a fait construire à Brest, pour la cuisson d
pouzzolanes, un four à réverbère d'une forme partic
lière, dont la cheminée est partagée dans une partie
sa longueur en trois compartiments. On introduit
matière à calciner, par une ouverture qui se trouve ve
le milieu de la cheminée, dans le compartiment du m
lieu; elle s'échauffe en descendant et arrive bientôt s
la sole où elle s'étend en couche mince au moyen d'
ringard. Quand la torréfaction est terminée, on amè
la pouzzolane dans un espace en dessous du four, en
faisant tomber par un conduit vertical qui se trouve de
rière l'autel du foyer, entre cet autel et le commenceme
de la sole du four, et on l'enlève quand son refroidiss
ment est complet. Des ouvertures servent à agiter et
faire tomber les substances quand elles s'agglutinent
s'arrêtent dans la cheminée. Une grille, au bas de la ch
minée, empêche qu'une trop grande masse de pouzzolar

tombe à la fois sur la sole. Dans quelques fours plus perfectionnés, il y a jusqu'à trois soles superposées que la pouzzolane parcourt successivement.

La durée et l'intensité de la torréfaction exerce sur ces produits une énorme influence. Voici le résultat de quelques expériences exécutées sur une argile ocreuse :

DURÉE de la torréfaction.	PERTE de poids.	ORDRE dans lequel a eu lieu la vitesse de prise des mortiers.	DURETÉ après 2 mois.
minutes.	grammes.		
5	11.00	4	900
7	11.00	3	1000
10	9.50	3	1000
15	9.65	2	1100
20	14.60	1	1500
25	11.80	1	1500
30	11.20	2	1200
40	12.50	4	600
60	11.00	5	500
120	11.00	6	200

On voit par ce tableau que l'intensité de la pouzzolane augmente d'abord pour décroître ensuite. Le point le plus convenable répond à peu près à la température de la cuisson de la chaux ou de la bonne brique.

Pulvérisation. — Ce qui a été dit par rapport à la pulvérisation de la pouzzolane naturelle s'applique à celle-ci, aussi bien qu'aux diverses variétés dont il va être question.

Nous allons traiter séparément un autre système de fabrication de pouzzolane artificielle, dont le principe consiste à faire cuire l'argile moulée en briques ou en tuiles grossières.

Poudre d'argile cuite.

105. Il ne faut pas confondre la poudre d'argile cuit fabriquée spécialement pour remplacer la pouzzolan avec la poudre de brique ou de tuileau, dont il sera par plus loin.

La poudre d'argile cuite se fait avec des briques ou d tuiles cuites au degré convenable, de manière à ce qu'e les ne soient ni biscuites, ni calcinées, attendu que l'e nergie de cette matière, employée comme pouzzola artificielle, s'affaiblit rapidement à mesure qu'elle ap proche du terme où elle commence à subir une espèce c vitrification. On pulvérise ces matières à la meule ou a pilon, et on les passe au tamis de boulanger pour en se parer les morceaux non broyés.

Il ne faut pas confondre non plus l'argile employée la confection des chaux hydrauliques factices, avec poudre d'argile cuite dont il est question ici, et qui e une pouzzolane artificielle, c'est-à-dire qui produit u mélange hydraulique avec la chaux, en opérant à froi et par la voie humide.

La plupart des livres qui traitent des constructio prescrivent l'emploi exclusif des tuileaux bien cuits, d défendent absolument l'emploi des briques, de quelqu qualité qu'elles soient. M. Sganzin, dans son *Cours l'usage de l'Ecole polytechnique*, cite, à l'appui de cett opinion, une expérience faite en grand pour la construc tion du radier général du pont d'Alexandrie. L'officie du génie qui était chargé de l'exécution de ce travai n'ayant que du ciment de briques tendres, le change en un excellent ciment, dit M. Sganzin, en lui faisan subir une nouvelle cuisson dans un four à réverbère tandis que le ciment qui n'avait pas subi cette second cuite, fournissait un mortier qui se délayait dans l'eau Mais M. Vicat, en rappelant ce fait, observe avec raiso que la chaux de Casal, dont on se servait à Alexandrie

st une chaux éminemment hydraulique : ainsi cette ex-érience confirme le principe posé par cet ingénieur, que ı bonté des mortiers, soit de sable, soit de pouzzolanes ɜt sous ce nom de pouzzolanes, on comprend toutes les ıatières, soit naturelles, soit artificielles, qui ont la pro-riété de former avec les chaux communes des mortiers ydrauliques, dépend des qualités relatives de ces sub-tances; que les meilleurs mortiers se font en unissant ɜs chaux éminemment hydrauliques avec le sable émi-emment quartzeux, ou les chaux communes très-grasses vec les pouzzolanes les plus énergiques; et que, pour ɜs combinaisons intermédiaires, il faut que les qualités e l'une de ces matières diminuent à mesure que celles e l'autre augmentent. En cuisant une seconde fois le ıortier d'Alexandrie, on le rendait moins bon, comme iment; mais si l'on avait dû le mélanger avec une chaux ommune, il est probable que le ciment de première cuite ût été préférable. Au surplus, il ne paraît pas que l'ob-ervation de M. Vicat, d'où il résulte que l'argile légère-ıent cuite est un alliage excellent pour la fabrication du ıortier, tandis que la même substance, fortement calci-ée, n'est qu'un alliage médiocre; il ne paraît pas, di-ons-nous, que cette observation puisse être appliquée ;énéralement; car il résulte d'expériences plus récentes, aites par M. le général Treussard, que la nature même le la terre à briques peut influer sur le degré de cuisson ıécessaire pour en faire un bon mortier. Cet officier a ormé des mortiers par le mélange d'une chaux commune ıvec deux espèces de ciment, l'une provenant de tuiles eu cuites, et l'autre provenant de tuiles qu'on appelle *ien cuites*, et dans les proportions indiquées à la com-osition des mortiers, ciments, etc. Le premier mortier, nis dans l'eau, était déjà très-dur au bout de cinq jours, andis que le deuxième était encore mou au bout de deux nois.

Ce fait s'accorde avec les observations de M. Vicat; nais M. le général Treussart, ayant répété cette expé-

rience en employant des tuiles d'une autre fabrique faites avec une terre différente de celle dont étaient fo mées les premières tuiles, a trouvé des résultats to contraires avec la même chaux, combinée avec des tı leaux bien cuits. M. Treussart a cherché, dans la con position des ciments, les causes de cette différence, et a reconnu que tous les ciments qui lui avaient donné bons résultats lorsqu'ils étaient bien cuits, contenaie une assez grande quantité de chaux, tandis que les ments qui demandent à être fortement cuits pour do ner de bons résultats, ne contiennent point ou presq point de chaux. Peut-être, en faisant varier les pr portions pour la composition du mortier, serait-il arri au même résultat que par les premières expérienc Quoi qu'il en soit, comme la terre à briques pourr encore devoir à d'autres substances mélangées ou con binées, des propriétés qui modifieraient les résultats tés ci-dessus, il semble que le meilleur parti à prend sera d'essayer, pour une chaux déterminée, lequel, ciment de briques ou du ciment de tuileaux, produira meilleur mortier, et même de déterminer le degré cuisson qu'on devra préférer dans chaque localité po les y employer exclusivement.

M. le général Treussart, en continuant ses recherch sur les ciments, a été conduit à penser que la présen d'une certaine quantité de chaux dans les argiles des nées à fournir, par leur cuisson, de la pouzzolane arti cielle, était une condition essentielle à la bonne qual des produits. Il aurait pu remarquer de plus que cet addition de chaux permettant de donner un assez faib degré de cuisson à la pouzzolane, il en résultait u grande économie de combustible, et que, par suite, briques étant peu cuites, on avait plus de facilité po les réduire en poudre, ce qui produisait une nouve économie. M. Treussart a conclu de ses expériences, q les terres argileuses les plus propres à la fabrication d pouzzolanes factices sont celles qui contiennent à p

près autant de silice que d'alumine, et qui ne contiennent que quatre à cinq centièmes de carbonate de chaux. Ces sortes de terres se trouvent fréquemment parmi celles que les potiers emploient. L'argile destinée à cette fabrication est corroyée de la même manière qu'on le fait pour les briques. M. Treussart en fait des briques parallélipipédiques plus ou moins grosses, selon que l'argile contient plus ou moins de chaux, et il les cuit d'autant moins que la terre contient plus de chaux. Ces briques sont ensuite réduites en poudre très-fine passée à un tamis de fil métallique très-serré, l'expérience ayant appris que, plus cette pouzzolane était fine, mieux elle valait.

La cuisson étant l'opération la plus délicate et la plus coûteuse de la fabrication de la pouzzolane, il vaut mieux introduire d'abord dans l'argile la quantité de chaux nécessaire pour produire de bonne pouzzolane, en employant le moins de combustible possible pour la cuisson; c'est ce que l'on fait à Meudon, en mêlant à trois parties d'argile une partie de chaux ordinaire en pâte : ces deux matières sont broyées et mélangées par la voie humide, avec une machine à faire le mortier (celle de M. de Saint-Léger, dont nous parlerons plus loin), de manière à former une pâte dont on sépare avec soin tous les corps étrangers. Cette pâte est moulée en briques grossières que l'on fait sécher à l'air sur des étagères à claire-voie. Ces briques sont portées à un four à flamme, où on leur donne le degré de cuisson convenable : ce degré de cuisson ne peut être déterminé que par expérience, et cette opération exige beaucoup de soins. On broie ensuite ces briques sous une meule. M. de Saint-Léger fabrique de la sorte des pouzzolanes factices qui sont incontestablement d'une qualité supérieure à celle des pouzzolanes naturelles. Il se sert, pour la cuisson, d'un four de son invention, fort ingénieux, et dans lequel il tire parti de la flamme produite par la réduction de la houille en coke. Cependant il est juste de dire que c'est M. le général Treussart qui, le premier, a fait con-

naître le rôle important que joue la chaux dans cet opération, et l'influence que cette matière exerce sur nature des produits.

Par ce moyen, on pourra aisément fabriquer partou d'excellente pouzzolane; mais, avant tout, il faut savo si l'argile qu'on se propose d'employer contient de chaux, et combien elle en contient. Voici un procédé d'a nalyse pour y parvenir, dont on est redevable à M. Ber thier :

Lorsque les argiles contiennent de la chaux, cette terr y est toujours simplement mélangée à l'état de carbo nate : il en résulte qu'il est très-facile de reconnaître s présence; il suffit, pour cela, de verser quelques goutte d'un acide quelconque (même du vinaigre ordinaire) su un morceau d'argile, ou, ce qui est préférable, de verse l'acide sur l'argile délayée dans l'eau, de manière à en faire une pâte claire. Pour peu qu'il y ait du carbonat de chaux, il se manifeste une effervescence facile à aper-cevoir, et cette effervescence est d'autant plus vive que la portion du carbonate de chaux est plus grande.

L'analyse des argiles calcaires se fait à peu près de la même manière que l'analyse des calcaires argileux. On dessèche l'argile en la laissant exposée à l'air pendant un temps suffisant, après l'avoir concassée; puis on la pulvérise, on la passe au tamis de soie, et on la fait sé-cher de nouveau à l'air, et, s'il se peut, au soleil. On pourrait, pour accélérer l'opération, la faire sécher au feu; mais il faudrait avoir l'attention de ne pas l'exposer à une chaleur plus élevée que celle de l'eau bouillante.

On pèse 10 grammes de la poudre, on la délaie dans un peu d'eau, et l'on verse dessus de l'acide muriatique ou de l'acide nitrique du commerce, un peu étendu d'eau, ou, à leur défaut, du vinaigre, en agitant continuellement avec un tube de verre ou avec une baguette de bois, et jusqu'à ce qu'il ne se fasse plus aucune effervescence.

On y ajoute ensuite environ un demi-litre d'eau, et l'on passe le tout sur un filtre de papier Joseph dont on

préalablement déterminé le poids avec exactitude. On ve le filtre en y versant encore une certaine quantité 'eau, après que toute la dissolution y a passé; puis on fait sécher, soit à l'air, soit sur le feu, à une chaleur ·ès-douce, et on le pèse de nouveau. En retranchant le oids du papier de ce second poids, on a le poids de argile qui est restée dessus, et l'on peut en conclure ar différence le poids du carbonate de chaux qui s'est issous dans l'acide.

Si l'on voulait doser directement le carbonate de chaux, e qui serait plus exact, dans le cas surtout où l'argile 'en contiendrait que fort peu, il faudrait verser dans la queur filtrée du carbonate de potasse ou du carbonate e soude, jusqu'à ce qu'elle cessât de faire effervescence, t la faire chauffer ensuite, jusqu'à l'ébullition, dans un ase dont l'ouverture fût assez large pour qu'on pût isément recueillir le dépôt de carbonate de chaux qui e formerait et qui pourrait adhérer aux parois. En jetant e tout sur un filtre pesé, on aurait, par une nouvelle esée, la quantité de carbonate de chaux contenu dans argile essayée.

Le procédé indiqué par M. Vicat pour transformer en ouzzolane une argile quelconque, consiste à placer de la erre argileuse en poudre, pendant 10 à 20 minutes, sur ne plaque de tôle rouge. Il a obtenu, par ce moyen, une ouzzolane artificielle excellente, supérieure à toutes elles que l'on fait avec des briques pilées, et beaucoup lus économique. Lorsque les terres argileuses sont nouillées, on doit les sécher à l'avance, après quoi on eut les battre pour les réduire en poussière ; et, dans le as où elles contiendraient des pierres, il faut les passer la claie. Outre les qualités qui dépendent de la cuisson, l est clair que les pouzzolanes qui résultent de ce mode le torréfaction auront une énergie dépendante de la qualité de la terre. M. Raucourt, qui a fait des applications n grand du procédé de M. Vicat, attribue l'effet produit par la cuisson sur les argiles à l'action de l'air sur les

matières qui les composent; et il affirme, dans l'ouvr
précédemment cité, que les expériences directes qu'
faites à ce sujet ont complétement confirmé cette ind
tion, qu'il étend également à la fabrication des ch
hydrauliques factices.

Voici la description que donne M. Raucourt du f
pour la cuisson des argiles : « Il est composé (fig. 26) d
foyer avec sa grille et d'un cendrier fermé par une po
qui en fait un fourneau à air; la cheminée, au lieu d'ê
verticale, est courbée; elle est traversée dans toute
longueur par un tuyau en fer battu, de forme parallé
grammique, ayant 50 centimètres sur 16 centimètres
hauteur. La partie inférieure est exposée à toute la fo
du foyer, et devra rester constamment rouge; à mes
que l'on s'élèvera, les degrés de chaleur iront en décro
sant, et lorsque la fumée s'échappera, elle aura perdu
plus grande partie de son calorique. Le tuyau est termi
par une trémie, dans laquelle on verse la poudre d'arg
à changer en pouzzolane; ainsi ce tuyau est, par le ha
complétement rempli; mais il n'en est pas de même p
le bas, l'inclinaison étant telle que la terre argileuse n'o
cupe au plus que le tiers ou la moitié de la hauteur; ai
l'air peut s'introduire, attendu que l'ouverture en C
fermée par une petite porte percée de trous.

« Toutes les 10 à 15 minutes, on ouvrira la porte
et l'on recevra dans le bassin D la portion d'argile q
aura été exposée au grand feu. Cette portion s'écoule
d'elle-même, et sera remplacée, dans la partie du tuy
qu'elle aura quittée, par les parties immédiatement s
périeures, et ces dernières par la terre séchée dans
trémie. »

Basalte.

106. Le *basalte* est une pierre formée par le produ
des éjections volcaniques sous-marines, d'un gris no
râtre ou tirant sur le bleu, d'un tissu compacte et sa
aucune soufflure.

Pour réduire le basalte en pouzzolane, on le chauffe ısqu'à ce qu'il coule au feu blanc : on le réduit ensuite n poudre, en le bocardant, et on le passe au crible our en séparer les parties trop grosses.

L'emploi du basalte comme pouzzolane a été essayé vec succès à Cherbourg, pour les travaux de la rade. est résulté des expériences faites à ce sujet par M. de essart, en 1787, et constatées authentiquement, que ı basalte avait un avantage marqué sur la pouzzolane enue d'Italie. La bonté de cette pouzzolane a été conrmée par de nouvelles expériences faites par M. Vicat. insi l'on peut regarder comme hors de doute que le asalte calciné forme, même avec des chaux communes, 'excellents mortiers hydrauliques. L'analyse chimique u basalte a donné sur cent parties :

Alumine.	16,75
Silice.	44,50
Oxyde de fer.	20,00
Chaux.	9,50
Oxyde de manganèse.	2,37
Soude.	2,60
Eau.	2,00
Perte.	2,28
	100,00

Arènes.

107. Les arènes sont des sables, formés sur place par ı décomposition des roches anciennes, qui forment avec ı chaux grasse des mortiers hydrauliques. La couleur e ces sables varie du rouge-brun au jaunâtre, ils ont très-abondants à la limite des terrains anciens et es terrains secondaires ; ils occupent ordinairement le ommet des collines arrondies et peu élevées : on les encontre fréquemment dans le Périgord et la Chamıagne.

M. Girard de Caudemberg a reconnu qu'elles doivent

leurs propriétés à l'argile qu'elles contiennent en p
ou moins grande quantité. Une légère calcination au
mente l'énergie de ces propriétés.

Psammites.

108. On confond sous le nom de psammites des esp
ces très-nombreuses d'assemblages de grains de qua
de mica, de feldspath et de schiste agglutinés par
ciments variables. Les psammites schistoïdes, jaunes, r
ges ou bruns, à grains fins onctueux au toucher et f
sant pâte argileuse avec l'eau, proviennent de la déco
position des roches schisteuses primitives. On les trou
en veine dans les schistes du département du Finistè
M. Avril, ingénieur, qui les a employés pour le canal
Nantes à Brest, mêlait une partie de chaux grasse
pâte et trois parties de psammite calciné et pulvéri
Le mortier faisait prise après 17 jours d'immersion.

Schistes calcinés.

109. Lorsqu'on voudra faire de la pouzzolane avec
schiste bleu (ardoise), on le chauffera plusieurs heures
portant sa chaleur jusqu'au blanc, de manière que s
feuillets se boursoufflent et se prennent en masses p
reuses, légères, friables, et d'un vert pâle. On doit rej
ter celui qui n'aurait subi que le premier degré de cui
son, et qui est d'un roux doré. Les masses ou scori
doivent être pulvérisées.

L'emploi du schiste bleu comme pouzzolane a été d
couvert par M. Baggé, ingénieur suédois. La premiè
application qui en a été faite en France est due à
Gratien Lepère, ingénieur des ponts-et-chaussées.

Le schiste ferrugineux de Hainneville, près Cherbour
est celui dont il a obtenu les meilleurs résultats en
substituant à la pouzzolane. Son analyse a donné :

Alumine.	26
Silice.	46
Magnésie.	8
Chaux.	4
Oxyde de fer.	14
Perte et eau.	2
	100

On cuit le schiste dans un four à chaux ordinaire et la même manière que la pierre à chaux. On a remar-ıé, dans la cuisson des schistes, que les débris de pierre lcaire mêlés aux schistes et au combustible employé, it bois, bruyère ou charbon de terre, accéléraient la trification de cette substance. On fera donc bien, dans calcination des schistes, de les mélanger avec les petits bris provenant du concassement que l'on fait de la erre calcaire pour être disposée dans les fours avant cuisson.

Le schiste ferrugineux convient mieux avec les chaux drauliques, et le schiste siliceux avec les chaux com-unes.

Grès à gangue argileuse.

110. Certains grès friables renferment une gangue ar-leuse qui leur donne la propriété de rendre hydrauli-ıe le mortier de chaux grasse. M. Minard les a obser-s pour la première fois auprès de La Fère, à l'époque la construction du canal de Saint-Quentin. Ces grès istent en bancs plus ou moins épais, reposant sur la aie. Leur dureté est variable. Ils jouissent de propriétés uzzolaniques d'autant plus énergiques qu'ils sont plus mpactes. Mais les frais de pulvérisation seraient consi-rables avec des roches dures; on se borne donc à l'em-oi, encore suffisant, des parties assez friables pour re désagrégées par un seul passage à la claie.

Les grès pouzzolaniques torréfiés en plein air sur une aque de tôle deviennent plus énergiques. Calcinés au

contraire en vase clos, ou même dans un four à cha
ordinaire, ils perdent en partie leurs propriétés.

La meilleure proportion du mélange paraît être
trois parties de grès et d'une de chaux grasse en poud
Les mortiers sont assez gras, vu la ténacité du grès;
doit les brasser avec soin et à deux reprises différente
quelques heures d'intervalle.

Grès ferrugineux.

111. Le grès ferrugineux, chauffé au premier de
de cuisson de la brique, fournit également une esp
de pouzzolane.

Il y a une sorte de grès ferrugineux, trouvée aux e
virons de Castelnaudary, qui a fourni, par la calcinati
à M. Daudin, ingénieur des ponts-et-chaussées (en 178
une pouzzolane dont l'emploi, pour la fabrication
mortier hydraulique, a donné des résultats aussi sat
faisants que la pouzzolane d'Italie. Cette pierre, d
brun rougeâtre, agit sur le barreau aimanté, ne
point effervescence avec les acides, ni feu avec le b
quet. M. Vicat a également fait l'essai du grès ferru
neux comme pouzzolane. Quoique cette substance lui
donné des résultats moins bons que le schiste, le bas
et l'argile, ses expériences montrent qu'elle n'est
sans énergie comme pouzzolane.

Matière formée d'argile et de potasse.
(*Ciment à l'eau forte.*)

112. On a quelquefois employé avec succès une com
naison particulière d'argile et de potasse, connue sou
nom de ciment à l'eau forte, pour la confection de m
tiers hydrauliques; mais ce produit ne se renco
plus dans le commerce, depuis que l'on fabrique l'a
nitrique en décomposant par l'acide sulfurique le nit
de potasse.

Quand la méthode de fabriquer l'acide nitrique consisit à décomposer, à une très-forte chaleur, le nitrate de ›tasse brut, en le mêlant, dans des proportions convebles, avec une espèce d'argile rouge, contenant beau›up d'oxyde de fer, on brisait les cornues après l'opéraon, et l'on en retirait un résidu friable, boursoufflé et resque nitreux, qui était le *ciment à l'eau forte*.

Cette matière est une combinaison d'argile ferrugieuse, de potasse et de quelques sels alcalins. On attrie la propriété qu'a le ciment à l'eau forte d'être une xcellente pouzzolane, bien supérieure à toutes les au·es, à la présence de la potasse.

On emploie aussi dans ce ciment les têts de cornues e grès cassées qui ont servi à la fabrication de l'acide itrique. Il suffit de les pulvériser.

Cendrée.

113. La cendrée proprement dite se tire des fours à haux chauffés avec de la houille.

Cendres de houille.

114. Les cendres de houille peuvent être tirées, soit les fourneaux chez les particuliers, soit des usines, des brasseries, des forges, etc.

Les unes et les autres doivent être bien pures, nettoyées de charbon et passées au tamis. Leur transport doit toujours se faire par un temps sec, et elles doivent être déposées dans des magasins couverts, à l'abri de l'humidité.

Les expériences de M. Vicat prouvent que la houille, réduite en cendres à un feu fort lent, l'emporte, pour la qualité du mortier, sur celle qui est parvenue à l'état de scories dures ou friables, pesantes ou légères.

Cendres de bois.

115. Les cendres de toute espèce de bois peuvent é
lement être employées pour former avec la chaux
mortier très-bon pour les ouvrages exposés successi
ment à l'humidité et à la sécheresse.

L'emploi des cendres de bois ou de houille n'aura
mais grande importance.

Scories de forge. — Laitiers de haut-fourneau.

116. La poudre des scories de forge se fait avec
mâchefer provenant des forges ; on la passe au tamis
fil-de-fer très-serré, de manière à la réduire à la gr
seur de la poudre à canon.

Il en est de même des laitiers.

Ces matières doivent être prises comme des pouzzol
nes peu énergiques et qu'on ne doit mêler qu'à des cha
déjà un peu hydrauliques par elles-mêmes.

Terres ocreuses.

117. Lorsqu'on voudra transformer en pouzzolane, p
la calcination, les terres ocreuses, on choisira celles q
l'expérience a montrées donner les meilleurs résultats

1° Les terres rouges connues sous le nom d'*ocre*
terres ocreuses. On donnera la préference aux plus ro
ges, et surtout à celles qui contiennent de la mine
fer en grain ;

2° Les *terres bolaires* jaunes qui deviennent roug
par la calcination ;

3° Les *schistes noirâtres*, qui se décomposent d'eu
mêmes, et se divisent aisément en poussière : on préf
rera ceux qui seront imprégnés de charbon.

C'est à M. le comte Chaptal que l'on doit la premiè
idée de l'emploi des terres ocreuses comme pouzzolan

e Mémoire qu'il a publié en 1787 sur cet objet, étant evenu rare, nous allons en donner ici les principaux ésultats.

Il faut d'abord s'assurer de la qualité d'une terre à ouzzolane avant d'en déterminer l'emploi. Pour cela, on rend quelques kilog. de la terre qu'on veut essayer, et près l'avoir divisée et humectée avec de l'eau, on en orme des boules, qu'on fait cuire à un fourneau de poerie ou à un feu quelconque : on les écrase ensuite our faire du mortier, en les mélangeant avec de la haux, et, d'après la qualité de ces mortiers d'essai, on uge de la bonté de la pouzzolane.

Une fois qu'on aura reconnu, par des essais prélimiaires, les bonnes qualités d'une terre, on construira un ourneau sur les lieux, et l'on en variera la construction elon la nature du combustible à employer.

Si l'on doit se servir de charbon de terre, on construira un four coulant en forme de cône de 2m.60 à 3m.25 le haut, sur 2 mètres à 2m.30 de diamètre à la base, semblable à ceux que nous avons décrits dans la première partie. On le chargera par couches alternatives de charbon et de terre à pouzzolane, comme si on voulait calciner de la pierre à chaux, et on se guidera dans la manœuvre sur ce qui est indiqué pour la calcination continue à petite flamme.

Le plus mauvais charbon peut être employé à cette opération, et le résidu de la combustion forme une nouvelle quantité de pouzzolane, puisqu'on peut l'employer séparément comme elle.

Ce fourneau présente plusieurs avantages :

1° Il en coûte peu pour l'établir; il ne s'agit, pour cet effet, que de construire, en pierre non vitrifiable, une maçonnerie assez forte pour résister à l'action d'un feu modéré;

2° Un seul homme suffit pour l'alimenter; et, dans vingt-quatre heures, il peut le charger de 30 à 40 quin-

taux métriques de terre, ce qui donne 20 à 30 quinta de pouzzolane;

3° On peut établir des fourneaux sur presque tou les mines de charbon, puisque les schistes noirâtres, tr légèrement imprégnés de bitume, ne peuvent être e ployés à aucun autre usage, et qu'ils donnent une pou zolane grise excellente;

4° Les pouzzolanes faites de cette manière ne peuv revenir qu'à 50 ou 60 centimes le quintal métriq attendu que la terre n'a besoin d'aucune opération pré minaire, et qu'on peut la mêler avec le charbon te qu'on la trouve.

Lorsqu'on est obligé de se servir du bois pour la c cination, il faut varier la construction des fourneaux donner une préparation particulière à la terre pour faciliter la cuisson : à cet effet, l'on humecte la terre l'on en forme des boules de 10 à 16 centimètres de di mètre : on les laisse légèrement sécher, on les arrange tas dans un four de 2m.30 de diamètre sur 3 mètres haut, de manière à laisser des intervalles pour la circ lation de la flamme. Le cendrier est séparé de l'intérie du fourneau par une voûte percée de plusieurs trous q donnent passage à la flamme. On chauffe fortement, toute la masse se calcine également. M. le comte Chap a obtenu, par ce moyen, de 50 à 75 quintaux de pouzz lane après trente heures d'un feu actif. Dès que les bo les sont suffisamment refroidies, on les retire du fou on les écrase, et on peut les employer de suite. Les fou neaux de poteries les plus communes peuvent être en ployés pour cette opération.

Les pouzzolanes de M. le comte de Chaptal, provena de la calcination des terres rouges des environs de Mon pellier, ont été soumises à des expériences faites à Cett en 1786, concurremment avec des pouzzolanes d'Italie du Vivarais; les bétons formés avec ces différentes pou zolanes étaient composés de deux parties de pouzzolan 1,50 de chaux éteinte par immersion, et 1,50 de menu

ierrailles. On les a déposés dans la mer, et il est résulté e l'examen fait, à diverses époques, de ces bétons, que s pouzzolanes artificielles de M. Chaptal pouvaient emplacer avec avantage les meilleures pouzzolanes d'Ilie.

M. Vitalis, chimiste de Rouen, a fait, en 1806, de nouelles expériences sur la torréfaction des terres ocreuses, ui ont confirmé les résultats annoncés par M. Chaptal. es expériences, répétées plus en grand par M. Le Mason, ingénieur des ponts-et-chaussées, ne laissent aucun oute sur l'utilité de l'emploi de ces terres comme pouzolane.

M. Chaptal attribue une influence favorable au fer sur qualité des pouzzolanes provenant de la torréfaction es terres ocreuses. Il a conclu de ses analyses : 1° que excès de terre argileuse nuit à la qualité des pouzzolaes, et que c'est peut-être la raison pour laquelle les rres argileuses pures calcinées ne peuvent pas être emloyées comme pouzzolane; 2° que le principe ferrugieux est très-avantageux aux pouzzolanes. Dans ces expériences, il a bonifié la qualité de certaines terres en s arrosant avec une dissolution de sulfate de fer, ou en s gâchant avec du mâchefer pilé.

En admettant cette influence du fer sur les pouzzolaes ocreuses, peut-on la regarder comme la cause pinpale de l'efficacité des autres espèces de pouzzolanes? . Vicat paraît croire que c'est à l'état de la silice dans s pouzzolanes, état qui la rend propre à contracter, ar l'addition de l'eau, une union intime avec la chaux, ue ces substances doivent la faculté de faire prise dans eau par leur mélange avec la chaux. M. le général Treusrt espère pouvoir conclure de ses expériences, que les calis jouent un grand rôle dans la composition des ouzzolanes; les mortiers qu'il a faits en mêlant à de la aux commune de la terre à alun calcinée, ont durci au out de quarante-huit heures; mais il n'a pas constaté uelle était leur ténacité relative. On pourrait citer, à

l'appui de cette dernière opinion, les analyses qui
été faites de diverses substances volcaniques dans l-
quelles on a trouvé quelques parties de soude ou de p-
tasse, et l'observation faite par M. Vicat, que le prod
de la distillation de l'argile avec le nitrate de potasse
une pouzzolane d'une énergie remarquable. Au reste,
principal objet de cet article était de faire connaître
différentes espèces de pouzzolanes, leur nature intime
les conséquences qu'on pourra en tirer pour leur fab-
cation et leur emploi.

Poudre de brique ou de tuileau.

118. On donne quelquefois à tort le nom de ciment à
la brique ou à du tuileau pulvérisés qu'on mélange av
de la chaux. Cette poudre n'offre aucune sécurité, et
le conçoit aisément, quand elle provient de rebuts
pièces trop cuites ou trop peu cuites, qui contiennent
sable et presque toujours des terres grasses et non
l'argile, ce qui fait qu'on ne peut jamais compter sur
effet régulier. Mais lorsque cette poudre est de bon
qualité, elle donne d'excellents résultats.

CHAPITRE VI.

Chaux hydrauliques.

Chaux hydraulique naturelle.

119. Nous entendons par *chaux hydraulique naturelle* le qui est obtenue directement par la calcination d'un caire argileux, et qui se réduit en poudre en absornt de l'eau. Réduite en poudre, elle absorbe l'eau sans oduire grand développement de chaleur et sans aug-ınter beaucoup de volume; elle forme une pâte courte i durcit plus ou moins sous l'eau. Exposée à l'air, dans s endroits secs, cette chaux n'est pas aussi bonne que chaux grasse. La chaux n'est jamais hydraulique 'autant que l'argile en fait partie et qu'elle entre dans composition pour une quantité notable.

120. Non-seulement M. Vicat a ouvert, par ses travaux entifiques, la voie aux connaissances sur toutes ces ıtières si indispensables aux constructions, et non conıt de livrer à tous ses découvertes, il a encore exploré -même le sol de la France, signalant dans chaque en-ɔit les matériaux naturels propres à la confection des 'erses chaux. Il en a ainsi désigné plus de trois cents. nombre a naturellement beaucoup augmenté.

Nous donnons la composition d'un certain nombre de calcaires, celle de la chaux qu'on produit en les cuiıt et quelques détails sur chacun d'eux.

	ÉLÉMENTS.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Composition du calcaire sur 100 parties.	Carbonate de chaux.	89.2	85.8	83.0	76.6	82.7	»	80.30	»	»	51.33	76.5	80.0	82.5	72.5	»	52.47
	— de magnésie.	3.0	0.4	tr.	tr.	»	»	2.60	»	»	40.91	3.0	1.5	4.1	4.5	»	44.25
	Argile..	7.8	7.6	15.0	»	»	»	14.60	»	»	5.50	15.2	18.5	13.4	2.3	»	3.25
	Silice gélatineuse. .	»	»	»	15.3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	Sable quarzeux et argile.	»	»	»	»	15.0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	Alumine et oxyde de fer..	»	»	»	2.6	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	Oxyde de fer. . . .	»	»	»	»	tr.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	Carbonate de fer. .	»	»	»	»	»	»	0.58	»	»	»	3.0	»	»	»	»	»
	— de manganèse	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1.5	»	»	»	»	»
	Pyrite de fer. . . .	»	6.2	»	»	»	»	0.80	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	Soude et potasse. .	»	»	»	»	»	»	0.12	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	Eau.	»	»	»	4.5	1.2	»	1.00	»	»	2.26	»	»	»	»	»	»
	Perte.	»	»	»	1.0	1.1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Composition de la chaux sur 100 parties	Chaux.	»	»	»	69.5	78.29	69.83	»	77.19	74.90	53.82	68.3	70.0	82.5	»	53.05	51.21
	Argile { Silice. . . .	»	»	»	24.7	18.20	26.14	»	13.77	16.73	10.25	24.0	29.0	13.4	»	21.42	6.00
	Argile { Alumine. .	»	»	»	4.3	1.80	1.54	»	8.69	6.89					»	21.44	
	Sable quarzeux. . .	»	»	»	»	1.71	»	»	»	»	»	»	»	»	»	tr.	»
	Magnésie.	»	»	»	tr.	»	1.34	»	0.35	0.14	35.93	»	»	»	»	tr.	39.76
	Oxyde de fer. . . .	»	»	»	tr.	tr.	tr.	»	tr.	tr.	»	5.7	»	»	»	tr.	»
	— de manganèse	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2.0	1.0	4.1	»	»	»
	Sulfate de chaux. .	»	»	»	»	»	1.15	»	»	1.24	»	»	»	»	»	4.09	»
	Perte.	»	»	»	1.5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

Nos du tableau
précédent.

122. 1. *Calcaire jurassique de Chaulnay, près Mâcon.*—ompacte, blanc jaunâtre, à grains fins.

2. *Calcaire jurassique de Saint-Germain (Ain).* — Compacte, gris foncé. — Pénétré de coquilles et veiné de calaire blanc lamellaire. — Coloré par une matière charonneuse qui y entre pour 0,02 et qui est compris dans argile (Berthier).

3. *Calcaire jurassique de Bigna.* — Compacte, à grains resque terreux, gris clair (Berthier).

4. *Calcaire siliceux et chaux hydraulique de Roquefort 3ouches-du-Rhône).* — Calcaire gris clair, grain serré et omogène, fait aux acides une effervescence lente, et isse un résidu boueux de silice, sans sable quarzeux, ontient un peu d'argile.

Cette chaux de la Bedoule ou de Roquefort se rapproie de la suivante. Elle est très-employée dans le midi e la France.

5. *Calcaire siliceux et chaux hydraulique du Theil.* — e calcaire s'extrait depuis des siècles des carrières de afarge, situées près le Theil, canton de Viviers (Ardèhe).

La chaux éminemment hydraulique du Theil, est fourie par des carrières qui font partie des marnes néocoiennes inférieures et constituent l'assise désignée par es géologues sous le nom de calcaire à criocères.

Elles sont considérables, ouvertes sur un front de 120 iètres de hauteur sur 450 de longueur et formées de trois ancs superposés.

Chaque jour on casse 700 mètres cubes environ de ierre fournissant 525,000 kilog. de chaux blutée.

Il n'y a pas moins de trente-trois fours continus qui onsomment 80 à 90,000 kilog. de charbon par jour.

L'extinction se fait par immersion et demande une diaine de jours pour être complète et que la chaux deienne pulvérulente.

Sa consommation est universelle. C'est la meilleure d
chaux hydrauliques, la seule qu'on puisse employer da
les travaux à la mer.

Elle pèse de 700 à 720 kilog. le mètre cube non tas
— Il faut 1,000 kilog. de chaux en poudre pour produ
1 mètre cube de chaux en pâte ferme.

Voici le dosage ordinairement employé pour mortier

A l'eau de mer. . .	350 kil. chaux pour 1 mètre de sab			
Eau douce.. . . .	300	—	—	—
A l'air.	250	—	—	—

Pour bétons :

Eau de mer. . . .	2 vol. mortier, 3 pierres cassées			
	1	—	2	—

Comme complément de la composition donnée dans
tableau ci-joint, nous dirons que cette chaux renferme
61 à 66 0/0 de silicate de chaux et 25 0/0 de chaux lib

Employée aux ports de la Méditerranée, en Algérie,
Corse, au canal de Suez, etc.

6. *Chaux siliceuse hydraulique de Montélimart (Dróm*
— Le calcaire qui la fournit s'exploite à la partie in
rieure des dépôts néocomiens du terrain crétacé in
rieur.

La chaux hydraulique de Montélimart est une poud
blanche. Elle ne fait pas effervescence aux acides, m
par calcination perd 11,85 d'eau. Sa prise n'a lieu qu'
bout de 2 jours 1/2, et son durcissement est d'ailleu
faible.

Son hydraulicité provient de la silice libre qu'e
contient, car elle renferme très-peu d'alumine et p
suite d'argile. Le calcaire qui la produit est siliceux
non argileux, elle se rapproche de celle du Theil, ma
contient plus de silice.

7. *Calcaire et chaux hydraulique d'Echoisy, près Man*
(*Charente*). — Cette chaux, dont on doit la découverte
M. Dupont, conducteur des ponts-et-chaussées, provie
du calcaire jurassique moyen. Le calcaire d'Echoisy e

ouleur bleu ardoise, formé en bancs homogènes très-uissants et faciles à exploiter.

La chaux en fragments pèse 800 kilogrammes au mètre ube, blutée, 500 kilogrammes au mètre cube; son foionnement par le gâchage est 0m.25.

Elle prend dans un intervalle de 6 à 12 heures, s'emloie à l'air ou sous l'eau; dans le premier cas, on emloie 1 de chaux et 2 de sable; dans le second 0,4 et 0,6. e sable s'ajoute à la chaux réduite en pâte et mélangée 0,3 ou 0,6 d'eau.

Cette chaux a été employée dans les travaux des chemins e fer du Midi, du grand central d'Orléans, au port de ochefort et aux digues d'Amboise où elle a donné de ons résultats.

8. *Chaux hydraulique des Morins, près Sainte-Foy (Gionde).* — A été employée pour de grands travaux 'art, souterrain de Lormont près Bordeaux, viaduc et ont de Libourne, et barrage sur la Dordogne.

9. *Chaux hydraulique de la Mancelière, près Brezolles Eure-et-Loir).* — Elle est fournie par un calcaire blanc risâtre, tendre et même terreux, très-riche en nodules phériques et radié de pyrite, se présente en poudre lanche, prenant en deux jours.

Le mètre cube bluté pèse 573 kilogrammes et augmente ar le gâchage de 0,53.

A été employée sur la ligne de Cherbourg.

10. *Chaux hydraulique magnésienne de Paris.* — Cette haux provient d'une dolomie associée au gypse enclavé ans le silurien supérieur, avec lequel elle se trouve uelquefois en contact. Cette dolomie est terreuse, d'un ris jaunâtre avec une structure cariée, fait effervescence ux acides, laisse un faible résidu d'argile.

11. *Calcaire jurassique de Metz.* — Compacte, à grains erreux, gris-bleu, donne une chaux très-hydraulique.

12. *Calcaire crayeux de Senonches, près Dreux (Eure-et-oir).* — Calcaire compacte, très-tendre, s'écrasant ntre les doigts, absorbe l'eau très-rapidement sans tom-

ber en poussière par la calcination. Laisse aux acides u résidu ayant un aspect farineux, et ne contenant que d traces d'alumine.

La chaux de Senonches doit son hydraulicité à silice.

En pierre, son foisonnement est de 0,20.

Le poids du mètre cube bluté est de 900 kilogramm pour la chaux blutée, la contraction au gâchage est 0,21.

A servi à des travaux importants sur la ligne l'Ouest.

13. *Calcaire jurassique des environs de Nîmes.* Compacte, gris jaunâtre.

14. *Calcaire de formation tertiaire* (*Puy-de-Dôme*).

15. *Chaux hydraulique d'Antony* (*Paris*). — Cette cha est fabriquée avec des marnes, ce qui explique sa gran hydraulicité, qui contiennent une argile magnésien verte, donnant une teinte verdâtre à la masse.

La chaux en poudre est d'un gris-vert clair, pèse mètre cube, en morceaux 650 kilogrammes, et blut 700.

Son foisonnement est de 0,58 avec augmentation 1,77, et la contraction 0,20 avec augmentation de poi de 0,33. — La prise complète a lieu au bout de 18 heur sa résistance à la traction est supérieure à 0k.52. El est très-hydraulique.

16. *Chaux de Robache, St.-Dié* (*Moselle*). — Coule très-variable, du gris au rose; elle provient d'une dol mie à structure cristalline.

Elle pèse en morceaux 840 kilogrammes au mètre cub blutée et tassée 625.

Gâchée à l'eau, son volume augmente de 1 à 1,37.

Très-employée dans les travaux des Vosges.

On peut citer encore :

La chaux de Seilley à Ville-sous-Laferté (*Aube*), trè hydraulique, et employée pour les travaux réclama une prompte exécution et une grande solidité.

Chemins de fer de l'Est, du Bourbonnais, canal St.-
urice, pont de Solferino, etc.

La chaux de Paviers (*Indre-et-Loire*). — Elle pèse de
0 à 750 kilogrammes au mètre cube, son rendement
pâte est de 0,800.

Employée aux travaux de défense d'Amboise, sur la li-
e d'Orléans et du Centre, et à St.-Nazaire.

La chaux de Try, Dormans (*Marne*). En morceaux pèse
0 kilogrammes le mètre cube, blutée 665, augmente au
chage de 0,47.

A servi à une partie de la ligne de l'Est.

Enfin, citons encore les chaux de *Cassel* (*Nord*), *Yssin-
aux* (*Haute-Loire*), *de la Hève, de St.-Quentin, Castel-
udary*, etc., etc.

Remarques générales sur les chaux hydrauliques.

123. Jusqu'à ces derniers temps, on n'était pas d'ac-
rd sur la cause de l'hydraulicité de la chaux; généra-
ment on l'attribuait à la présence des oxydes métalli-
es, oxydes de fer et de manganèse, ou à la combinaison
matières siliceuses. Quelques personnes pensaient que
tte propriété n'était due qu'à la présence d'un silicate
alumine. Cette opinion, émise par Saussure, a prévalu,
les expériences de M. Vicat ont démontré qu'on pou-
it rendre hydraulique une chaux qui ne l'était pas,
la combinant avec de l'argile (composé principale-
ent formé de silice et d'alumine) dans de certaines pro-
rtions et par les moyens convenables.

124. Les expériences de M. Treussart, général du génie,
our rendre hydrauliques des chaux communes, et pour
briquer des pouzzolanes artificielles, confirment cette
ssertion, qui depuis a été mise dans tout son jour par
nouvelles expériences faites par M. Berthier, ingénieur
chef des mines. Il résulte de l'analyse de huit espè-
s de calcaires faites par ce dernier : 1° que les pierres
lcaires qui sont à peu près pures produisent toujours

de la chaux grasse; 2° et que les pierres calcaires très-m langées, mais qui ne renferment pas d'argile (silice, alu mine...), produisent de la chaux maigre, mais non h draulique.

Il résulte également d'un grand nombre d'autres ana lyses faites par M. Berthier, que la silice seule peut fo mer avec la chaux une combinaison éminemment h draulique, et que la magnésie, seule ou mélangée av les oxydes de fer et de manganèse, ne peut produire u semblable combinaison, et rend la chaux maigre, sa lui communiquer la propriété de se solidifier sous l'ea Ces résultats ont été confirmés par des opérations sy thétiques, qui prouvent en même temps : 1° que l'alu mine seule n'a pas plus d'efficacité que la magnésie po rendre la chaux hydraulique ; 2° que la silice est un prin cipe essentiel à ces sortes de chaux; 3° que les oxydes d fer et de manganèse n'influent nullement sur la qualit hydraulique de la chaux (ce dernier résultat avait déj été trouvé par M. Vicat).

Nous ne devons admettre ce qui précède qu'avec de réserves. Ainsi on a vu dans le premier chapitre, à pro pos de la *dolomie*, que, d'après des expériences d M. Vicat, la magnésie, quand elle intervenait en forte proportions, et quoique mélangée seule à la chaux, for mait de la chaux très-hydraulique. (Voir à ce sujet le nouvelles observations contenues dans le chapitre V d *Manuel du Maçon*).

125. Ce qui est dit des pierres s'applique aussi, d'a près l'opinion générale, aux craies. MM. Bergère et Peti tot, officiers du génie, ont trouvé dans les environs d Vitry-le Français plusieurs espèces de craies qui donnen de la chaux hydraulique, et qui ont donné à l'analys faite par M. Berthier, les résultats suivants :

CRAIES.	nº 1	nº 2	nº 3	nº 4	nº 5	nº 6	nº 7	nº 8	nº 9	nº 10	nº 11	nº 12
Argile.	0 037	0.045	0.052	0.072	0.072	0.079	0.081	0.085	0.106	0.107	0.114	0.263
Magnésie et oxyde de fer.	0.022	0.010	0.014	0.008	0.024	0.010	0.006	0.006	0.056	0.032	0 016	0.014
Chaux.	0.526	0.524	0.524	0.511	0.504	0.503	0.513	0.509	0.458	0.471	0.480	0.383
Acide carbonique et eau. . . .	0.415	0.420	0.410	0.409	0.400	0.408	6.400	0.400	0.380	0.390	0.390	0.340

Ces craies étaient plus ou moins grises ou jaunâtr celles qui ont fourni les chaux les plus hydrauliques rapprochaient des marnes pour la couleur et pour composition.

Les nos 1, 2 et 3, donnent des chaux légèrement h drauliques.

Les nos 4, 5, 6, 7 et 8, donnent des chaux moyennem hydrauliques.

Les nos 9, 10 et 11, donnent des chaux très-hydrau ques.

Le no 12, qui est une pierre marneuse, ne donne q de la chaux excessivement hydraulique et difficile éteindre.

Note sur la fabrication et l'emploi du mortier à chaux hydraulique.

(Paris, Imprimerie royale, juillet 1823.)

126. « Il est peu de départements (les pays grani ques exceptés) où l'on ne puisse rencontrer du calca argileux; il faut le chercher avec persévérance. Les in cations de MM. les ingénieurs des mines peuvent ê d'un grand secours. Conclure la non-existence de pierre à chaux hydraulique, de la nature des mas principales que les accidents du sol mettent en éviden serait une erreur. La composition du calcaire varie chaque instant, et souvent celui que l'on cherche n' qu'à une très-petite distance de la pierre à chaux co mune; l'un et l'autre se trouvent quelquefois dans même carrière, séparés seulement par un ou deux ban Les renseignements des maçons et des maîtres chaufo niers peuvent être d'ailleurs d'un utile secours : si on interroge sur les diverses chaux des pays qu'ils habite ils ne manquent jamais de désigner les chaux hydrau ques comme les plus mauvaises; il faut même insis pour qu'ils en fassent mention.

« La cuisson et l'épreuve par le feu sont les seuls in-ces sur lesquels on puisse compter avec une entière rtitude. Quand donc on aura rassemblé divers échan-lons présumés bons, on les fera cuire *en grand* et non *petit* avec le même combustible qui devra ultérieure-ent être employé sur les travaux ou par les maîtres aufourniers chargés des fournitures. Il est sous-entendu ı'on ne fera pas la dépense d'une fournée pour un sim-e essai, on profitera des fours en activité dans le pays. ıns les fours à bois, les échantillons seront placés dans ıe région moyenne, entre les couches qui reçoivent le us grand feu et celles qui présentent ordinairement des erres parfaitement cuites. Dans les fours à houille, on ›urra diminuer un peu la dose ordinaire de charbon, une certaine distance, en tous sens, du point où les hantillons seront logés. Ces précautions sont indispen-bles, en ce que les pierres à chaux hydraulique ne ›urraient, sans se fritter, supporter un feu aussi violent ıe celui dont on a besoin pour cuire les pierres à chaux asse.

« Comme il est rare que deux pierres essentiellement fférentes aient le même grain et la même couleur après cuisson, il sera facile de distinguer les échantillons en périence des autres pierres dont un four à houille sera argé. On pourra, au surplus, entremêler avec ces échan-lons quelques fragments de briques dont l'apparition rvira de signal.

« On reconnaît la chaux hydraulique bien cuite, à sa gèreté, à sa consistance crayeuse et à l'effervescence ı'elle fait avec l'eau lorsqu'elle n'a pas encore été éven-e. Est-elle, au contraire, lourde, compacte, vitrifiée gèrement sur les arêtes, longtemps inactive après l'im-ersion, on doit en conclure que le terme de la bonne isson a été dépassé ; fuse-t-elle superficiellement en issant un noyau, la cuisson en est incomplète. Dans s deux derniers cas, l'épreuve est à refaire. L'inaction rsévérante de la pierre cuite, lorsqu'on l'immerge, peut

être due encore à la présence d'une trop forte proporti d'argile ; ce n'est plus alors un calcaire argileux, ma bien une véritable argile chargée de calcaire en tr petite quantité pour appartenir à la catégorie des pierr à chaux.

« Admettons que la pierre soit cuite au degré conv nable, on l'éteint avec très-peu d'eau, on la pétrit en l donnant la consistance d'une pâte forte, et, quand chaleur développée par l'extinction s'est entièreme dissipée, on tire de cette pâte une boule d'environ 5 ce timètres de diamètre, que l'on jette dans un verre boire ; on frappe à plusieurs reprises du fond du ve dans la main, pour que la boule s'affaisse et perde peu de sa sphéricité, après quoi l'on immerge le to sous une eau pure. Si la chaux est éminemment hydra lique, on ne tardera guère à s'en apercevoir, car, apr vingt-quatre heures, elle aura déjà sensiblement dur et après trois ou quatre jours au plus, il sera tout-à-f impossible d'y enfoncer le doigt; en thèse générale, qualité sera en raison du temps qu'elle mettra à fa prise. Le temps de cette prise (et cette remarque est in portante) est relatif au degré de consistance qu'avait pâte au moment de l'immersion. Il faut donc, lorsqu fait des expériences comparatives, partir toujours d'u consistance commune et invariable, que l'on détermi rigoureusement par l'égalité des dépressions d'une ba de pierre ou de métal tombant sur la matière d'une ha teur constante.

« Une véritable et bonne chaux hydraulique qui pas encore été éventée, doit donc remplir deux con tions essentielles, qui sont : 1° de faire effervescen avec l'eau, et de foisonner par conséquent entre certai limites qu'on peut évaluer à peu près à 0,10, et à 0 du volume primitif; 2° de durcir dans l'eau après tr ou quatre jours, lorsque l'hydrate immergé a été gâ en pâte ferme.

« On dit que la première de ces conditions est esse

lle, parce qu'il existe des pierres qui, cuites et pulvéées, peuvent former pâte avec l'eau et durcir très-vite rès l'immersion sans avoir donné aucun signe d'effer-scence ou de foisonnement (1). Ce ne sont point là de ritables chaux; la pâte en est courte et pour ainsi dire ns gluten; elles s'allient mal avec le sable; leur emploi 'air n'est en général ni avantageux, ni économique.

« Les caractères des bonnes chaux hydrauliques natulles conviennent aussi aux chaux artificielles, lorsque lles-ci résultent de la combinaison de l'argile avec la atière calcaire, donnée immédiatement par la nature, le que la craie, par exemple. Le foisonnement devient gatif, au contraire, si, au lieu de craie, on a employé e chaux commune, déjà développée par l'extinction, la raison en est évidente.

« Ces explications devenaient d'autant plus nécessaires, e *chaux maigre* et *chaux hydraulique* étant encore une ème chose pour beaucoup de personnes, il serait à aindre qu'on ne s'en rapportât uniquement au foisonment pour statuer sur des qualités qui ne lui sont pas sentiellement proportionnelles. Quant à la cuisson en tit, elle est sujette à plusieurs inconvénients très-gras, il suffira de dire qu'elle peut, dans certaines cirnstances, transformer des pierres à chaux communes chaux moyennement hydraulique, pour justifier la commandation expresse que l'on a faite de soumettre s échantillons d'essai à une cuisson en grand. »

Chaux hydraulique artificielle.

127. La *chaux hydraulique artificielle* n'est plus, comme chaux hydraulique naturelle, le produit de la calcition d'un calcaire argileux, mais le résultat de la transrmation de la chaux grasse en chaux hydraulique par ddition d'une certaine quantité d'argile.

(1) Ce sont presque toujours des pierres contenant beaucoup d'arle.

La chaux hydraulique artificielle peut se fabriquer deux manières : c'est-à-dire par première cuisson, ou seconde cuisson.

En tous cas, elle se réduit en poudre, comme les cha aériennes et la chaux hydraulique naturelle, en s'ét gnant ou en absorbant de l'eau.

128. Aucun doute n'existe sur la possibilité de ren hydraulique la chaux grasse en la mélangeant avec l'argile. Mais, de plus, il paraît que d'autres matiè peuvent aussi, en se combinant avec la chaux, la ren hydraulique. Voici, à cet égard, le résumé des expérien du général Treussart, qui croit que la soude ou la tasse, ainsi que leurs carbonates, et le muriate de sou ont également cette propriété :

1° Si l'on prend de la chaux vive commune, et qu l'éteigne avec le quart de son volume d'eau dans laque on a fait dissoudre de la soude, de manière qu'elle m que cinq degrés au pèse-liqueur, on obtient de la cha en poudre sèche avec cette quantité d'eau seulement; on laisse reposer cette poudre à l'air pendant un mo et qu'on la fasse recuire au four au bout de ce tem alors on obtient une chaux qui, mêlée avec du sab forme un mortier qui devient très-dur dans l'eau au b de quarante-huit heures. — On obtient un effet abso ment semblable en se servant du carbonate de soude commerce.

Si, au lieu d'éteindre la chaux avec de la soude, on teint avec le quart en volume d'eau saturée de sel ma (muriate de soude ou chlorure de sodium), et qu fasse reposer la chaux en poudre et recuire ensu comme ci-dessus, on a une chaux qui, mêlée avec du ble, forme encore un mortier qui devient très-dur d l'eau au bout de trente-six heures.

2° Si, au lieu de traiter la chaux comme ci-dessus, a de la soude et du carbonate de soude, on la traite de même manière avec de la potasse ou du carbonate

ıtasse, on obtient un mortier qui devient aussi très-
ır dans l'eau au bout de trente-six heures.

3° Si l'on prend du carbonate de chaux pulvérisé
ı'on a mélangé avec deux dixièmes d'alumine, et qu'on
laisse pendant trois mois en contact avec de l'eau sa-
rée de sel marin, on obtient en faisant calciner ce car-
ınate, une chaux qui, mêlée avec du sable, forme un
ortier qui durcit dans l'eau au bout de cinq jours.

M. Treussart pense que, dans ce cas, le carbonate de
aux décompose le sel marin, et il attribue le retard
ıns le durcissement à la présence de l'alumine.

4° Si l'on prend de la chaux commune, qu'on l'éteigne
'ec le quart de son volume d'eau saturée de sel marin,
qu'on laisse la poudre qui en résulte reposer à l'air
endant deux mois et demi, on obtient une chaux qui,
ıns être recuite, forme, avec du sable, un mortier qui
ırcit sous l'eau au bout de vingt jours.

Je crois que ces expériences sont sujettes à vérification,
ais aussi j'ai pensé que, sous cette réserve, il était in-
ressant d'en faire part au lecteur.

129. Revenons-en à la fabrication de la chaux hydrau-
que artificielle au moyen d'une addition d'argile.

En tête des procédés industriels dont le but est de
onner à de la chaux ordinaire des propriétés hydrau-
ques qu'elle n'a pas, se trouve celui de M. Vicat, dont
nom se rencontre à chaque page de tous les traités
ır les chaux et les mortiers. M. Vicat a confectionné, en
319 et 1820, des chaux hydrauliques factices qui ont été
mployées en grand à Toulon, dans des constructions
ydrauliques de toute espèce, et qui ont donné d'excel-
ents résultats.

130. Le procédé de M. Vicat, pour rendre hydraulique
ne chaux commune, consiste à la laisser se réduire
pontanément en poudre fine dans un endroit sec et cou-
ert ; à la pétrir ensuite, à l'aide d'un peu d'eau, avec
ıne certaine quantité d'argile grise ou brune, ou sim-
lement avec de la terre à brique, et à tirer de cette

pâte des boules qu'on laisse sécher pour les faire cui
ensuite au degré convenable.

Les chaux communes très-grasses peuvent comport
0,20 d'argile pour 1 ; les chaux moyennes en ont ass
de 0,15; 0,10, et même 0,06 suffisent pour celles qui o
déjà quelques qualités hydrauliques. Lorsqu'on force
dose jusqu'à 0,33 ou 0,40, la chaux que l'on obtient
fuse point; mais elle se pulvérise facilement, et donn
lorsqu'on la détrempe, une pâte qui prend corps so
l'eau très-promptement. Les qualités de l'argile peuver
d'ailleurs, influer aussi sur les proportions.

131. Ce procédé a été mis en pratique, en grand, p
M. Lacordaire, ingénieur des ponts-et-chaussées, po
la construction d'un pont à Mélisey (Haute-Saône).
chaux qu'on a employée n'était pas tout à fait grasse,
avait déjà quelques caractères hydrauliques. La propo
tion adoptée pour le mélange était de neuf parties
chaux pour une d'argile : on a d'abord essayé de l'op
rer par la voie sèche; mais ce procédé était trop co
teux, et on l'a fait par la voie humide. On commenç
par délayer dans un baquet d'eau la quantité d'arg
déterminée par le mélange; et, au moyen de cette e
chargée d'argile, on mettait en pâte la chaux ordinai
d'abord réduite en poudre, soit par l'extinction spont
née, soit par immersion. Il en résultait une pâte ass
ferme, qui était mise en boules d'environ 20 centimèt
de diamètre; ces boules restaient exposées à l'air cinq
six jours; on les disposait en piles comme des boule
et lorsqu'elles avaient acquis une dureté suffisante,
les plaçait dans un four à chaux dont la voûte inférieu
ainsi que les reins, étaient construits avec de la pie
calcaire qui produisait la chaux ordinaire destinée à f
mer une nouvelle pâte hydraulique.

132. M. Raucourt, de Charleville, dans le XIXe chapi
de son ouvrage sur la *Fabrication des Mortiers*, rend
plus beaux témoignages des procédés de M. Vicat, ai
que des applications qu'il a faites de sa méthode.

La chaux employée par M. Raucourt était commune, uelquefois moyenne, mais plus souvent grasse. L'ana- yse de la pierre à chaux qui l'a fournie, donne, sur 100 arties, 96 de carbonate de chaux, 2 de silice, 1,50 'oxyde de fer, et 0,50 de perte; la chaux éteinte spon- anément et mêlée avec un sixième de terre argileuse et e l'eau, séchée ensuite et cuite au four, donna une ex- ellente chaux hydraulique, pure ou mélangée avec du able de mer; elle avait, au bout de huit ou dix jours, arfaitement bien pris sous l'eau. L'argile employée tait composée sur 100 parties, de 55 de silice, 38 d'alu- nine et 7 d'oxyde de fer.

Lorsqu'on mettait un neuvième de terre, la chaux ob- enue était faiblement hydraulique; si l'on en mettait lus d'un sixième, la chaux était très-hydraulique et aisait corps dans l'eau très-promptement, mais elle sup- ortait moins de sable et rendait les composés plus coû- eux. M. Raucourt observe, en outre, que plus on ajoute e terre au mélange, plus la chaux devient maigre, et noins elle foisonne; en conséquence, et comparative- nent à ce qu'elle rend, plus elle coûte de manipulation, t plus elle tient de place dans la cuisson. Il est donc ésavantageux, sous le rapport de la dépense, d'em- loyer les combinaisons extrêmes; elles peuvent quel- uefois, dit M. Raucourt, être nuisibles dans l'emploi, et onner plus de chance de mauvaises manipulations.

M. Raucourt pense que toutes les terres argileuses ont propres à la transformation des chaux communes n chaux hydrauliques factices, mais qu'il en est qui, à uantités égales, donnent aux mêmes chaux des qualités lus hydrauliques; et ce sont, d'après les remarques de et ingénieur, les argiles ferrugineuses qui donnent les ouzzolanes artificielles les plus énergiques. De ces faits assemblés, M. Raucourt tire cette règle : Si l'on veut acilement reconnaître parmi plusieurs terres argileuses uelle est celle qui convient le mieux à la transforma- ion d'une chaux commune, grasse ou moyenne, en chaux

hydraulique factice, il faut exposer ces terres penda vingt minutes sur une plaque de tôle rouge, et chois l'argile qui, mêlée avec la chaux, aura donné le morti le plus hydraulique.

Les essais faits par M. Raucourt, pour déterminer l'i fluence du degré de la cuisson sur les chaux hydrau ques factices, ont montré que, pour les chaux grasses peu hydrauliques, les chaux bien cuites ont durci pl vite que les autres, et que le contraire avait lieu pour l chaux déjà hydrauliques, avant leur mélange avec l'a gile. Dans les expériences qu'il a faites, la quantité terre mêlée aux chaux était très-rapprochée du maximu de terre qui leur convient; dans d'autres essais faits mêlant un peu moins d'argile aux chaux hydrauliqu et un peu plus aux chaux grasses hydrauliques, M. Ra court a obtenu des résultats inverses ; il en conclut qu' degré de cuisson de plus équivaut à l'addition d'un p plus de terre.

En général, il résulte de toutes les expériences fai par M. Raucourt sur les chaux hydrauliques factices, q la quantité de terre à ajouter aux chaux naturelles, po les rendre très-hydrauliques, est dépendante de la n ture de la chaux, des qualités de la terre et du degré cuisson; que, dans le cas où l'on serait tombé dans l' cès de l'un ou de l'autre, un moyen de donner aux cha factices toutes les qualités désirables, est d'y ajouter peu de chaux naturelle, de telle sorte que dans le m lange il se trouve à peu près la même quantité de cha en poids, relativement au poids total indiqué par les p portions reconnues les meilleures. Une partie de ces fa demande confirmation, et on ne les cite ici que pour co pléter l'exposition des essais faits pour perfectionner l' de la fabrication des mortiers.

M. J.-F. John a cherché à rendre hydraulique la cha provenant des coquilles, en y introduisant par voie sè les principes élémentaires auxquels les chaux hydrau ques paraissent devoir leurs propriétés ; il a trouvé qu

sant un mélange de poudre de coquilles d'huîtres avec rerses proportions d'argile (depuis un dixième jusqu'à treizième), on obtenait de fort bonne chaux hydrau-ue; on aurait le même résultat en réduisant les ma-res terreuses en pâte avec la chaux de coquilles fusée, en calcinant le mélange après dessiccation.

134. La méthode indiquée par M. Vicat présente l'in-ivénient d'une double cuisson et d'une manipulation ›pendieuse. Il a cherché à y remédier par l'emploi des ›rres calcaires, tendres et crayeuses, et en remplaçant première cuisson par une pulvérisation mécanique de :te matière. Il doutait que le résultat fût avantageux. pendant M. de Saint-Léger, ancien capitaine du génie, établi, suivant ces nouvelles idées, une fabrique de aux hydraulique artificielle, près de Paris, où, après nombreuses expériences, il est parvenu à faire de la aux aussi bonne que celle de Sénonches.

135. La chaux de M. de Saint-Léger se fait avec un mé-ige de 4 parties, en volume, de craie de Meudon, et ine partie d'argile de Passy ou de Vanves. L'analyse ces argiles, faite par M. Berthier, a donné les résul-:s suivants :

ÉLÉMENTS DES ARGILES.	ARGILE DE PASSY		ARGILE DE VANVES	
	naturelle.	desséchée.	naturelle.	desséchée.
Silice.	0.535	0.622	0.545	0.630
Alumine. . . .	0.258	0.300	0.244	0.282
Oxyde de fer. .	0 055	0.064	0.050	0.068
Eau.	0.140	»	0.135	»
Perte.	0.012	0.014	0.017	0.020

La chaux que fabrique M. de Saint-Léger, par le pro-dé qui va être décrit, renferme :

Chaux		74.61
Argile	Silice. . . 15.86	23.79
	Alumine. 7 93	
Oxyde de fer		1.60
		100.00

Voici une description succincte des moyens de fabri tion employés par M. de Saint-Léger :

La craie et l'argile, dans les proportions qui vienne d'être indiquées, sont mises en morceaux et broyées e suite dans un bassin circulaire plein d'eau, au moy d'une meule de grès qu'un cheval fait mouvoir. Ce opération se continue jusqu'à ce que les matières forme une bouillie liquide bien homogène, et qu'on a soin purger de tous les graviers, débris calcaires et autr corps étrangers; on fait écouler cette bouillie dans d bassins découverts, où le mélange de craie et d'argile précipite au bout de quelques jours, et d'où l'on enlè l'eau avec des pompes ou par d'autres moyens. Lorsq le mélange a à peu près la consistance de l'argile à fai la poterie, on le divise en prismes oblongs d'environ décimètre cube, qu'on place sur des étagères à claire-vo mises à l'abri de la pluie par des auvents en planches, même simplement par des toiles : on les y laisse jusqu ce qu'ils soient parfaitement secs, et alors on les po au four. Ce four est composé de deux troncs de cône a colés par leur base, et se charge par la partie supérieu en mettant alternativement une couche de houille co cassée et une couche de mélange; on allume le feu p le bas, et au bout de vingt-quatre heures, les couches férieures du mélange sont transformées en chaux hydra lique, que l'on retire par une ouverture faite à la par inférieure du fourneau. A mesure que les matières s'a faissent par en haut, on y ajoute de nouvelles charges mettant alternativement une couche de houille et u couche de briques. M. de Saint-Léger emploie du cok de sorte que l'opération se fait presque sans fumée a

rente. M. de Saint-Léger se sert aussi du charbon de ne.

La chaux obtenue par ce procédé est d'un gris sale; e se dissout complètement dans les acides, et foisonne 0,65 de son volume par l'extinction ordinaire, lors- l'on en sépare avec soin les morceaux qui échappent à calcination; la cuisson demande beaucoup de soin, et ne sera probablement qu'après plusieurs essais qu'on rivera à l'application parfaite de ce procédé à des ma- res autres que celles qu'emploie M. de Saint-Léger.

36. M. Petitot, officier du génie, a, de son côté, et sans nnaître les procédés de M. de Saint-Léger, essayé de re de la chaux hydraulique avec la craie blanche de ry-le-Français, et est parvenu à un résultat très-satis- sant.

l prend cinq parties de craie du pays, pulvérisée et nisée avec soin, et une partie d'argile grise tirée du d des fossés de la place de Vitry, et contenant beau- ıp de pyrites en décomposition. Il réduit le mélange ces matières en une pâte bien corroyée, assez dure ır qu'on puisse en former des boules de la grosseur ne pomme, que l'on met dans le four à chaux, et qu'on cuire comme à l'ordinaire. Ici, les proportions du lange ne sont plus les mêmes que pour la chaux faite Paris; il est donc bien essentiel de déterminer ces pro- rtions par des expériences comparatives, puisqu'elles pendent de l'espèce de craie, de la nature de l'argile, peut-être aussi des procédés employés pour la cuis- ı.

Aperçu du prix de revient de la chaux hydraulique artificielle.

37. Voici, d'après M. Vicat, le prix de revient de la ıux artificielle employée au pont de Souillac. C'était le emier essai en grand et l'on se trouvait dans des cir- ıstances difficiles :

Fournitures.

$34^{mc}.550$ de chaux grasse vive, laquelle sera rend par la fournée (mémoire). 00 0

$5^{mc}.760$ d'argile cubée en poussière, à 6 fr. le mètre cube. 34 5

$43^{mc}.180$ de pierre à chaux grasse pour rendre la chaux empruntée et former la base du chargement, à 3 fr. 129 5

150 stères de bois à brûler à 4 fr. 20. . . . 630 0

Total des fournitures. . . . 794 1

Main-d'œuvre.

Extinction par immersion de $34^{mc}.550$ de chaux grasse, 56 journées à 1 fr. 50. . . . 84 0

Mélange de cette chaux avec l'argile, 140 journées à 1 fr. 50. . . . . 210 0

Division de la pâte et étalage au soleil, 65 journées à 1 fr. 50. . . . . 97 0

Enlèvement, transport et emmétrage de 50 mètres cubes de briquettes, 16 journées à 1 fr. 50. . . . . 24 0

Le chargement dans le four de 50 mètres cubes de pierre à chaux factice (briquettes) et de $43^{mc}.180$ de pierre à chaux grasse ont employé :

7 journées de maître chaufournier, à 3 fr. 21 0

36,4 journées d'aides, à 2 francs. 72 8

La cuisson et l'entretien du feu pendant 6 jours ont employé :

12 journées de maître chaufournier, à 3 fr. 36 0

24 journées d'aides, à 2 fr. 48 0

Total de la main-d'œuvre. 593 3

Total des fournitures. . . 794 1

1,387 4

1/5 pour faux frais et bénéfices. 277 5

1,664 9

Les 50 mètres cubes de briquettes se sont réduits à 40 ètres cubes de chaux factice, par le retrait.

Si nous divisons 1664,90 par 40, nous trouvons que le ètre cube de chaux hydraulique factice est revenu à fr. 62 c.

M. Mangon dit que ce prix est beaucoup trop élevé. fait observer que le mélange de la chaux avec l'argile ɜst fait à la main et que la cuisson a eu lieu dans des urs intermittents.

138. La chaux fabriquée par M. de Saint-Léger se ɪndait à Paris 60 francs le mètre cube, ce qui était oins cher que les chaux hydrauliques naturelles, mais était encore un prix élevé, puisque les chaux hydrauques artificielles fabriquées pour les travaux de la nagation de l'Oise ne revenaient qu'à 20 fr. le mètre cube.

139. « Nous devons appeler l'attention des construcurs sur une fabrication peu connue jusqu'à présent, ais qui a toujours donné d'excellents résultats à ceux ui l'ont employée (1). Les marnes sont, comme on sait, ɜs mélanges d'argile et de calcaire en proportions trèsifférentes. Il suffit d'ajouter tantôt de l'argile, mais lus souvent de la chaux, pour obtenir un mélange conɪnant 20 parties d'argile pour 140 de calcaire (2). Les ıarnes se délaient facilement dans l'eau ; de sorte que ɜ mélange intime des corps employés s'obtient presque ıns frais. Quand la pâte est devenue assez ferme par ı dessiccation, on l'étend en couche de 8 à 10 centimèɾes d'épaisseur sur une aire bien battue ; et on la déɔupe en morceaux de formes plus ou moins régulières u moyen d'une bêche dont le tranchant présente deux gnes droites formant un angle presque droit. On laisse ın peu durcir ces espèces de briquettes et on les souıet à la cuisson.

Voici, du reste, comment on peut établir en moyenne

(1) M. H. Mangon (Dictionnaire des Arts et Manufactures).

(2) Environ 14,21 d'argile et 85,79 de carbonate de chaux.

le prix de revient de la fabrication d'un mètre cube d
chaux hydraulique artificielle à simple cuisson.

Indemnité de terrain, suivant les localités.	pour mémoire
Extraction et approche des matières premières, comme craie, marne et argile, près des fours, suivant les distances.	pour mémoire
Trituration, mélange et façon des briquettes.	4 00
Charbon pour la cuisson, 2 hectolitres à 2 hectolitres 1/2, suivant le pays.	pour mémoire
Charge, soin du four et emmagasinage.	2 50
Frais d'établissement par mètre cube.	2 00
Prix du mètre cube.	

140. Voici, maintenant, comment on peut établir l
prix de revient, en moyenne, de la chaux hydrauliqu
artificielle fabriquée par *double cuisson*, en mélangean
l'argile à de la chaux grasse *cuite et éteinte* :

Un mètre cube de chaux grasse éteinte, suivant les pays.	pour mémoire
Fourniture de 0,200 à 0,250 d'argile, suivant les distances de transport et les difficultés d'extraction.	pour mémoire
Mélange de la chaux et de l'argile, trituration et façon des briquettes. . . .	2 00
Charbon pour la cuisson des briquettes, 1 hectolitre 1/2 à deux hectolitres, suivant les pays.	pour mémoire
Charge, soin du four et emmagasinage.	2 50
Frais d'établissement et de roulement par mètre cube.	2 25

Les bénéfices sont compris dans les deux sous-détail
que nous venons de donner et évalués à environ 12 pou

ınt. On suppose, en outre, que le prix de la journée de anœuvre est de 2 fr. 25, et qu'un chaufournier est ıyé 4 fr.

141. Quoique la transformation des chaux ordinaires ı chaux hydraulique soit un problème résolu ; quoiıe cette fabrication paraisse simple et facile, il ne faut ıs cependant s'illusionner : chaque fois qu'on aura sous main des calcaires donnant de la chaux hydraulique ıturelle, il ne faudra pas penser à en fabriquer en ncurrence.

On ne doit pas oublier que, dans la pratique, la faication de la chaux hydraulique exige des soins minuəux et que la réussite dépend de plusieurs choses : de nature des matières employées ; de leur préparation ; la cuisson, qui demande beaucoup d'aptitude. Enfin ne faut pas perdre de vue le prix de revient, comparativement à celui des autres chaux ou ciments qu'on ut se procurer dans le pays où on se trouve. Ici, mme presque toujours, c'est une question de localité ant tout.

M. J.-A. Dufour, ingénieur agricole à la ferme des Corns, près de Lagny, fabrique de la chaux hydraulique cellente, en faisant cuire de la marne, et peut la vene 12 fr. le mètre cube. A Cassel (Nord), M. Grondelımsoen ne la vend que 8 fr. On conçoit qu'en présence ces prix, toute entreprise de fabrication de chaux aricielle serait insensée.

Par suite des recherches faites il y a quelques années ır M. Rielsmann, on peut fabriquer des chaux hydrauques artificielles par de nouveaux procédés.

Sous l'influence des alcalis, potasse ou soude, les calires siliceux peuvent par calcination donner lieu à s combinaisons multiples de silice, chaux, alumine et ali produisant des chaux hydrauliques.

M. Rulhmann explique ainsi cette réaction, décomposition du carbonate de chaux par le silicate de po-

tasse, et décomposition du silicate de potasse par l'acid carbonique de l'air.

Cette théorie se trouve d'ailleurs confirmée par le faits suivants :

La chaux grasse, mise en contact avec une dissolutio de silicate de potasse, se transforme en chaux hydrau lique immédiatement.

La chaux grasse pulvérisée avec du silicate alcalin, e bien mélangée dans la proportion de 11 °/₀ de silicate donne également de la très bonne chaux hydraulique.

CHAPITRE VII.

Ciments.

Ciments naturels.

142. Les ciments, naturels ou artificiels, se distinguen des chaux en ce qu'ils ne s'éteignent pas et qu'on es obligé de les broyer après la cuisson pour les réduire e poudre.

143. On obtient des ciments naturels en calcinant ave beaucoup de soin, dans des fours continus, des calcai res très-argileux, comme le montre l'analyse suivante d quelques pierres à ciment :

		Boulogne.	Anglais.	Pouilly.	Argenteui
	Carbonate de chaux. .	61.6	65.7	57.2	63.0
	— de magnésie. .	»	0.5	3.6	4.0
	— de fer.	6.0	6.0	6.6	»
	— de manganèse.	»	1.9	»	»
Argile.	Silice.	15 0	18.0	23.2	14.0
	Alumine.	4.8	6.6	2.0	6.0
	Oxyde de fer. . .	3.0	»	6.7	»
	Magnésie.	»	»	»	7.0
	Eau.	6.6	1.3	7.4	6.0

Si on compare ce tableau à ceux des calcaires des chaux hydrauliques, on remarque que la proportion d'argile est augmentée.

Il paraît que le ciment anglais qui réunit le plus de qualités, au lieu de n'être formé que d'un seul calcaire, résulte d'un mélange de pierres calcinées d'Harwich et de Sheppy.

144. Le ciment semble devoir conserver encore longtemps la préférence qu'on lui accorde, dans beaucoup de circonstances. On en fait, en ce moment, une consommation incroyable dans la construction des égouts de Paris, où on a pris en grande considération l'avantage qu'il a de résister, par sa grande dureté, ainsi que la pierre meulière, aux attaques des rats, pour qui le moindre petit point perméable devient le commencement d'une destruction, contre laquelle il serait difficile de lutter sans cette précieuse matière.

Le ciment peut faire prise en quelques minutes, comme le plâtre ; il acquiert une grande dureté, principalement sous l'eau, où il n'éprouve pas de retrait sensible ; il ne présente, quand il est bien fait, ni fentes, ni gerçures, etc. Son usage est devenu une nécessité. Les ciments, dit M. H. Mangon, sont surtout précieux dans les travaux à la mer ; s'il s'agit, par exemple, de mettre à l'abri des vagues une partie de maçonnerie construite à la hâte pendant la basse mer, on applique une couche de ciment qui empêche le délayage des mortiers frais et leur donne le temps de faire prise. Dans une grande fouille, une source inonde les travaux, les épuisements ne peuvent la surmonter, avec le ciment on peut presque toujours la vaincre. On la réunit en un point ; on élève rapidement autour de la sortie une petite tour en briques cimentées, dans laquelle l'eau s'élève bientôt assez pour faire équilibre à la force jaillissante de la source. On jette alors au fond de cette espèce de puits quelques blocs de ciment qui ferment l'ouverture. Après quelques

heures, on peut démolir l'ouvrage en briques, la source est emprisonnée pour toujours.

L'application des ciments, dit encore M. Mangon, est assez délicate et exerce la plus grande influence sur les résultats qu'ils présentent. On doit les gâcher en consistance convenable et en petites quantités à la fois, et les appliquer en les pressant fortement et appliquant toujours une couche sur une autre encore fraîche, sans jamais interrompre le travail. Quand on opère sur des matériaux secs, il faut, avant d'appliquer le ciment, les nettoyer soigneusement et bien les mouiller, comme en les arrosant avec le jet d'une pompe à incendie ou à arrosage.

Si la supériorité des ciments ne laisse aucun doute quand ils sont sous l'eau, dans des fossés, des égouts, etc., en est-il de même lorsqu'ils sont exposés à l'air et à la gelée? A quoi attribuer leur parfaite conservation, comme celles des meilleures pierres, dans certains exemples, quand, au contraire, on remarque souvent qu'ils se fendillent, s'écaillent et tombent en poussière, comme un vase d'argile dans lequel on met de l'acide, quand, au contraire, les vases en grès résistent très-bien? Est-ce à la qualité du calcaire, au degré de cuisson, à la confection du mortier et aux ingrédients qu'on y incorpore; est-ce enfin à la manière dont le maçon l'applique, qu'il faut imputer la destruction, souvent très-prompte, des ciments exposés à l'action de l'atmosphère?

Ce fait, qui est commun à la chaux hydraulique, résulte ordinairement du retrait qu'éprouvent les matières, action qu'on ne peut combattre qu'avec le sable. Souvent aussi il est causé par une application mal faite. C'est, du reste, ce dont il sera plus amplement question dans le *Manuel du Maçon*.

145. Comme nous l'avons dit au commencement de ce chapitre, c'est en 1796 que MM. Parker et Wyatts prirent un brevet en Angleterre pour l'exploitation du calcaire dont nous venons de donner l'analyse, et qui leur pro-

duisait, après avoir été calciné et trituré, une substance nouvelle, singulière, jouissant au plus haut degré de la propriété hydraulique à laquelle ils donnèrent, soit par ignorance, soit par malice, le nom de *Roman-cement*, et qui fut l'objet d'un commerce immense, dont le monopole resta pendant fort longtemps aux Anglais, qui nous eurent, comme les autres nations, pour tributaires, malgré la publication d'un mémoire que fit M. Lesage, capitaine du génie, professeur à l'école de Metz, sur les propriétés des galets de Boulogne-sur-Mer de produire une substance à laquelle il donnait le nom, bien mieux approprié, de *plâtre-ciment*, et dont il a décrit les caractères distinctifs de la manière suivante, dans un rapport auquel on paraît n'avoir prêté aucune attention :

146. « Les pierres de Boulogne, dit M. Lesage, ont comme tous les autres cailloux roulés, une forme assez irrégulière, plus ou moins oblongue, quelquefois plate. La couleur la plus ordinaire de la surface se rapproche de celle de la rouille; la pesanteur spécifique est de 2,16. Cette pierre est très-dure et très-difficile à briser. La forme de la cassure est assez variable, ordinairement nette et plane, ou conchoïde, quelquefois raboteuse et striée. La nuance de la cassure est grisâtre; le grain en est très-fin et très-serré, d'une apparence pâteuse; la surface de la cassure est un peu grasse au toucher, et moins froide que la surface extérieure de la pierre; vue à la loupe, elle montre quelques points brillants; elle happe facilement à la langue. Cette pierre ne fait point feu au briquet, et la pointe du couteau y imprime des traces d'un blanc grisâtre, qui est aussi la couleur de sa poussière. Elle fait effervescence très-promptement avec l'acide nitrique; il y a dégagement de gaz acide nitreux, et il reste sur la surface de la pierre une teinte de rouille bien prononcée, qui n'est presque pas sensible sur la surface de la cassure. Son analyse, faite par M. Drapier, a donné les résultats suivants :

Carbonate de chaux		0.616
Carbonate de fer		0 060
Argile	Silice	0.150
	Alumine	0.048
	Oxyde de fer	0.030
Eau		0.066
Perte		0.030
		1.000

On fait cuire ces pierres dans des fours coniques, feu continu, avec de la houille, de la même manière qu les autres pierres à chaux; mais la conduite du feu exi beaucoup d'attention, parce que, lorsque la chale n'est pas convenablement ménagée, le ciment éprou un commencement de fusion et n'est plus propre à a cun usage. La pierre perd, par la cuisson, les 0,383 son poids, elle prend une couleur jaunâtre, quelquefo mêlée de longues taches brunes et rougeâtres; elle e alors très-douce au toucher, et, sans être grasse, el abandonne au doigt une poussière extrêmement fine; el happe fortement à la langue. On la conserve longtem sans altération, en ayant soin de la garantir de l'hun dité.

Mise dans l'eau, la pierre calcinée ne se fond pas comn la chaux vive; c'est par la trituration qu'on la rédui une poudre très-fine, douce et même un peu grasse toucher, de couleur mêlée de gris et d'une légère tein de jaune qui se change en couleur de rouille lorsqu' la mouille. On peut la conserver longtemps dans d tonneaux bien fermés; mais exposée au contact de l'a elle s'altère assez promptement en absorbant l'humidi de l'atmosphère. »

147. Postérieurement à l'époque où M. Lesage publia ses observations sur le *plâtre-ciment*, MM. Lamé et Cl peyron, ingénieurs des mines, découvraient en Russi près de Saint-Pétersbourg, un calcaire produisant un ment que l'on dit meilleur que celui des Anglais, et qu

n tous cas (comme le calcaire dont il provient ne content pas d'oxyde de fer), a l'avantage d'être parfaitement blanc. Ce ciment a pour composition : chaux, 62, rgile, 38.

Subséquemment, on trouva en France et ailleurs, eaucoup de calcaires propres à la fabrication des chaux ydrauliques et ciments naturels. On peut citer, entre utres carrières, celles trouvées dans le département le Saône-et-Loire, par M. Minard, ingénieur du canal lu Centre.

M. Minard croit, au reste, que la propriété de donner lu ciment appartient à presque toutes les pierres calaires, même à celles qui ne contiennent qu'un cinquième l'argile, suivant que la calcination serait lente et peu avancée. Il suffit, dit-il, de modifier convenablement le legré de calcination. Ainsi certaines pierres employées lepuis un temps immémorial à faire de la chaux, donnent à volonté du ciment romain qui prend en un quart-d'heure, ou d'autre qui ne prend qu'en quatre ou cinq ours, ou, enfin, de la chaux grasse qui ne prend pas. Pour cela, la pierre doit perdre 8, 12 ou 30 pour 100 par la calcination. M. Minard présume que les ciments romains ne doivent leur qualité qu'à un sous-carbonate de chaux, produit par une calcination particulière d'un carbonate de chaux naturel.

M. Vicat ne partage pas l'opinion de M. Minard, et nous engageons le lecteur à tenir compte des observations qu'il trouvera plus loin, à l'article des chaux-limites.

148. A propos de ce qui nous occupe en ce moment, nous devons mentionner que M. Lacordaire, ingénieur des ponts-et-chaussées, en réduisant à trois jours la cuisson, qui, avant, durait six jours, du calcaire argileux de l'Auxois, a obtenu deux produits : les deux tiers environ du volume total ont été calcinés à l'état de chaux hydraulique; le reste ne s'éteignait pas dans l'eau. Ce restant, en conservant son état de masse solide, s'est

trouvé ainsi séparé de la partie efflorescente par l'extinction. En profitant de cette circonstance de séparation, e en pulvérisant et gâchant comme du plâtre cette portio dure, elle a fait prise en quelques minutes.

Si l'on pouvait considérer l'expérience de M. Lacordaire comme concluante, et si, de plus, l'opinion d M. Minard était fondée, la question de la recherche de pierres à ciment serait singulièrement simplifiée, e même temps que celle des ciments artificiels serait également résolue.

(*Voir le Tableau ci-contre.*)

Tableau de la Composition chimique des principaux Ciments français et étrangers.

Principes constituants sur 100 parties.	Ciments limites inférieurs :													Ciment limite supérieur :
	De Portland de Stettin (Prusse).	De Bagaas (Norwége).	De Giudecca (Autriche).	De Guetary ou d'Urrugne (Basses-Pyrénées).	Des Buttes-Chaumont (Paris).	De Vitry-le-Français (vif) (Marne).	De Boulogne, dit portland.	De Vassy (Yonne).	D'Espéliès (Hongrie).	De Champ-Rond (Grenoble) (Isère).	De la Porte-de-France (Grenoble) (*à prise prompte*).	D'Antony, près Paris.	Saint-Sébastien (Espagne).	De Fagnières (Marne).
Chaux	68,10	64,52	63,46	63,44	62,04	61,90	61,75	59,50	58,03	56,17	55,98	53,92	38,34	37,37
Silice	22,52	24,08	23,46	22,75	22,765	22,22	25,10	15,75	27,14	26,44	22,10	31,61	37,65	45,68
Alumine	7,02	11,40	12,91	8,75	8,254	11,08	7,25	6,80	14,53	16,73	18,21	8,46	17,53	15,74
Oxyde de fer	»			3,75	4,570	4,80	4,50	7,35		trac.	trac.			
Magnésie	0,30	trac.	0,17	1,11	2,371	trac.	trac.	trac.	trac.	0,29	0,37		trac.	trac.
Acide carbonique	»	»	»	»	»	»	»	3,80	»	»	»	»	»	»
Eau	»	»	»	»	»	»	»		»	»	»	»	»	»
Acide sulfurique	»	»	»	0,20	traces	»	»	5,00	»	»	»	»	»	»
Principes alcalins	»	»	»	»	»	»	0,40	»	»	»	»	»	»	»
Sulfate de chaux	2,06	trac.	trac.	»	»	»	»	»	»	0,37	3,30	4,01	3,87	1,25
Matières inertes	»	»	»	»	»	»	1,00	»	»	»	»	»	»	»
Résidu argileux	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Perte	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2,61	»
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Principes constituants sur 100 parties.	Ciments ordinaires :														Ciments magnésiens :		Ciments artificiels :			
	De Bude (Hongrie).	De Corbigny (Nièvre).	D'Ulm (Wurtemberg).	De Langeon (Norwége).	De Thorold (Haut-Canada).	De Québec (Bas-Canada).	De Gap (Hautes-Alpes).	De la Porte-de-France (Grenoble) (*à prise lente*).	De Boulogne-sur-Mer (dit ciment romain).	De Pouilly (Côte-d'Or).	De Boulogne-sur-Mer (ciment ancien).	De Moissac (Tarn).	De Cahors (Lot).	Ciment anglais (Medina-Parker nouveau).	De Chasy (Canada).	D'Oméida (Haut-Canada).	De Portland (anglais).	De Portland (français).	Ciment anglais avec argile pure.	Ciment français avec argile pure.
Chaux	55,28	54,92	54,45	54,15	53,55	52,49	51,70	51,63	49,99	49,60	49,283	45,40	44,15	43,45	39,70	36,93	63,70	61,75	60,96	55,55
Silice	27,00	24,63	23,99	32,02	29,28	27,40	28,33	22,61	32,78	26,00	28,020	29,86	26,00	19,50	»	»	20,84	25,10	25,40	28,72
Alumine	17,52	15,31	18,56	13,77	12,70	12,16	19,57	19,79	9,09	10,00	9,575	20,04	12,15	5,60	30,98	»	6,66	7,25	14,00	15,72
Oxyde de fer	trac.	»					trac.	»	7,04	5,10	5,726	trac.	5,50	12,15		»	5,30	4,50	»	»
Magnésie	trac.	0,68	0,69	trac.	2,20	trac.	0,40	0,37	0,69	»	5,582	1,89	4,80	13,95	9,58	26,74	»	»	»	»
Acide carbonique	»	»	»	»	»	»	»	»	»	7,25	»	»	4,58	2,50	»	»	2,30	1,40	»	»
Eau	»	»	»	»	»	»	»	»	»		»	»			»	»			»	»
Acide sulfurique	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0,85	0,514	»	1,32	0,80	»	»	1,20	»	»	»
Principes alcalins	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1,19	»	»	1,20	2,15	»	»	»	»	»	»
Sulfate de chaux	trac.	4,16	2,31	trac.	1,58	7,95	trac.	5,60	»	»	»	2,81	»	»	»	»	»	»	»	»
Matières inertes	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	4,300	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Résidu argileux	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	30,98	36.33	»	»	»	»
Perte	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34

PRINCIPAUX CIMENTS FRANÇAIS ET ÉTRANGERS, RANGÉS PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

Propriétés physiques et chimiques, prise, résistance, prix et usages.

(Les numéros indiqués après le nom des ciments correspondent à ceux placés au bas de chaque colonne du *tableau de la composition chimique.*)

149. Anglais (Medina-Parker) nouveau. Classé dans les ciments naturels.

D'Antony, près Paris (12). — Fabriqué pour la première fois en 1848, par M. Baron-Chartier. C'est un ciment-limite inférieur. — Il provient des marnes du gypse d'Antony et de Fresne-lez-Rungis. (Voir la composition des chaux hydrauliques, nº 15.)

Le ciment d'Antony est blanc grisâtre. — Il pèse, bluté, 1,000 kilog. le mètre cube. Sa contraction par le gâchage est de 0,20. — Son augmentation de poids est de 0,27. — Il fait une légère effervescence dans l'acide, et donne beaucoup de silice gélatineuse quand on l'attaque par l'acide chlorhydrique. — Gâché, il prend une couleur claire comme celle de la pierre. — Sa prise est lente et n'exige pas d'ouvriers spéciaux, comme cela est nécessaire avec les ciments à prise rapide. Sa résistance à la traction est au moins de 1 k. 40. — Prix, 5 fr. par quintal et 6 fr. 50 rendu à Paris.

Le ciment d'Antony a été employé aux Halles centrales, à la tour Saint-Jacques, à la Sainte-Chapelle, au Palais-de-Justice, aux Invalides, à l'église de la Sorbonne.

De Bagaas, près de Christiania (Norwège) (2). — Ciment-limite inférieur. — Poudre jaune brunâtre. — Il fait prise en huit minutes. — Fabriqué par M. Tobiesen.

De Boulogne-sur-Mer. — (Voir « Ciment ancien de Boulogne, Ciment romain nouveau, et Portland naturel de Boulogne. »)

De Bude, en Hongrie (15). — Fabriqué depuis 1852, p M. Deak. Le calcaire argileux qui donne ce ciment vie de Braczin, en Syrmie.

Le ciment de Bude est une poudre jaune clair. Il fa une légère effervescence dans les acides, et perd 7, pour 100 par la calcination. — Sa prise a lieu en quat minutes. — Son durcissement est rapide et augmen graduellement. Il est très-léger.

Il a été employé à la construction du nouveau pont Pesth. Il ressemble beaucoup au ciment d'Espériès.

Des Buttes-Chaumont, près Paris (5). — Ciment-limi inférieur.

De Cahors (Lot) (27). — Ciment ordinaire.

De Champ-Rond (Isère), dans la commune de Vif, pr de Grenoble (10). — Ciment-limite inférieur, exploité fabriqué depuis 1854, par M. Rostan. Ce ciment a u couleur jaune brunâtre. — Il perd 2,55 par la calcin tion et ne fait pas effervescence avec les acides. — prise se fait en cinq minutes : la gangue s'échauffe fo tement, et son durcissement va constamment en au mentant; sa résistance à la traction est de 2 k. 18 a bout de huit jours.

Le calcaire argileux qui produit ce ciment est en ban homogènes.

Ce ciment est propre à faire tous les travaux hydra liques qui s'exécutent ordinairement en ciment, ain que les tuyaux de conduites, les dallages, les ornemen et les moulages délicats. — Il a été employé, d'après l ordres du maréchal Vaillant, à la construction de bar ques pour le campement des troupes.

De Chasy (Canada) (29). — Ciment magnésien ord naire. — Le calcaire dont il provient appartient au te rain silurien inférieur. Il s'étend sur plus de 50 mille — Il est argileux, compacte et homogène. — Sa coule est grise; il fait effervescence dans les acides.

Ciment romain ancien de Boulogne-sur-Mer (25). — ciment s'obtenait autrefois par la cuisson de rognons

lcaire argileux appartenant à l'argile de Kimmeridge, ii étaient recueillis sur la plage de Boulogne après les rtes marées. Nous rappellerons que c'est en 1796 que ngénieur Lesage découvrit les propriétés hydrauliques ı calcaire composant les galets de la plage de Boulogne.

Ciment romain nouveau de Boulogne-sur-Mer (23). — calcaire argileux qui fournit ce ciment a été découert en 1846, par MM. Demarle et E. Dupont, dans les ıvirons de Boulogne. Ce calcaire appartient aussi à l'arle de Kimmeridge.

La composition de ce nouveau ciment est beaucoup us régulière que celle de l'ancien.

Le ciment de Boulogne est jaunâtre, et sa couleur est ılle de la pierre de taille, en sorte qu'il ne fait pas disırate lorsqu'on l'emploie à la restauration des édifices. ı prise est très-prompte, et c'est même une difficulté de n emploi. On doit éviter de le gâcher avec trop d'eau. n peut l'employer pur ou bien avec une, deux, trois ırties de sable, suivant la nature des travaux.

Pour les enduits en ciment exposés au soleil, il est écessaire, afin d'éviter le retrait, de le mélanger au oins avec deux parties de sable.

Le mètre de ciment bluté et non tassé pèse 847 kilog. - Sa contraction par le gâchage est de 0,28. Le volume eau qu'il retient est alors de 0m.43; en sorte que son ıgmentation de poids est de 0,51.

Dans l'état auquel il est livré au commerce, il renferme) pour 100 d'eau et d'acide carbonique. — C'est un cient ordinaire.

Prix. — Déduction faite du baril, il revient à 3 fr. le ıintal, acheté à l'usine. — A Paris, son prix est de fr. 50. — Dans l'Océan, ce prix s'élève à 5 fr., et à 6 fr. ıns la Méditerranée.

Usages. — Moulage de galeries d'égout en une seule èce, comme celle du faubourg Saint-Antoine. — Canalition souterraine des villes par le moulage en une seule

pièce de tubes de gros diamètre et d'une faible épaisse
de parois.

Ce ciment a été employé à la construction des égou
et des conduites d'eau de la ville de Bordeaux. — Il r
siste à la mer, et pour cette raison il a été employé a
ports de Boulogne, de Saint-Malo, de Lorient, de Cala
(Voir « Portland naturel de Boulogne-sur-Mer. »)

Ciment a prise prompte et ciment a prise lente. (V
ciment « de la Porte-de-France. »)

De Corbigny (Nièvre) (16). — Fabriqué depuis 18
par MM. Boulet et Feuillet. — Ce ciment s'exploite da
le terrain liasique. — C'est une poudre brunâtre, faisa
une légère effervescence avec les acides et dégageant
peu d'hydrogène sulfuré par l'acide chlorhydrique.
Sa perte à la calcination est de 5,5. — Sa résistance à
traction est supérieure à 2 k. 13.

Le poids du mètre cube bluté est de 950 kilog.

Dans le gâchage, 1 mètre cube de ciment bluté, pesa
902 kilog., éprouve une contraction de 0,23. — L'au
mentation de l'unité de poids est de 0,38, c'est-à-d
double de ce qu'elle est dans le ciment de Portland a
glais.

Sa prise a lieu au bout de 3 à 4 minutes, et avec
échauffement considérable. — Il acquiert immédiatem
une grande dureté et est extrêmement compacte et i
perméable. — Il se vend 5 fr. 50 le quintal métriqu
l'usine, et revient à 7 fr. 25 transporté à Paris.

Usages. — Surtout employé pour tous les trava
hydrauliques, les digues d'étangs, les bassins pour fo
taines, les tuyaux de conduite. — Il se moule très-bi

De Doué (Maine-et-Loire). — Exploité par M. Oscar
Laleu.

D'Espériès, en Hongrie (9). — Fabriqué depuis 18
par M. Benczur, avec le concours de M. le capitaine
génie J. de Pfeifinger. — La couleur de ce ciment es
jaune clair. — Il fait une légère effervescence avec
acides, et il perd 5,5 par la calcination.

Le pied cube pèse 50 livres. — Il fait prise en huit inutes, et acquiert en peu de temps une grande dureté. Sa composition le classe parmi les ciments ordinaires, il se rapproche déjà des ciments limites inférieurs.

Usages. — On en fait des bassins, des égouts, des ottoirs, des dallages, des corniches et autres ornements architecture. — Il se moule très-bien et durcit très-bien ous l'eau.

De FAGNIÈRES (Marne) (14). — Ce ciment est fait arti-ciellement en mélangeant intimement 2 parties d'argile vec 3 parties de craie. — Il est d'un rouge brique clair. - Il perd 13,08 par la calcination et fait avec l'acide ne effervescence assez vive. — Sa prise a lieu au bout e quatre heures. Sa résistance à la traction est de 0kil.75 nviron.

Le poids du mètre cube, non tassé, est de 940 kilog.; le oids du mètre cube tassé est de 1,050 kilog. — Son ugmentation de poids par le gâchage est de 0,36.

C'est un ciment-limite supérieur. — Son prix varie de 5 à 50 fr. le mètre cube, suivant sa finesse.

La fabrique de ciment de Fagnières a été construite en 845, par M. Beauvais, conducteur des ponts et chaussées; lle appartient à M. Jacquesson, de Châlons-sur-Marne.

De GAP (Hautes-Alpes) (21). — Exploité et fabriqué lepuis 1850 par MM. L'Hermite et Olagnier.

Ce ciment est une poudre brun jaunâtre; il fait une égère effervescence avec l'acide et laisse un petit résidu le sable siliceux. Il perd 6.4 par la calcination.

Il fait prise en quatre minutes, et dégage de la cha-eur; le durcissement est prompt et progressif; il de-vient considérable. Sa résistance à la traction est supé-rieure à 2kil.31. — Son prix à Gap est de 5 fr. le quintal métrique.

Usages. — Ce ciment peut se mouler en objets très-délicats; il est très-compacte et ne se fendille pas par le retrait.

GRENOBLOIS. — Ce ciment s'exploite à la Porte-de-

France, près de Grenoble. — Le calcaire argileux d'où provient contient, d'après M. Gueymard, 23 d'argile su 77 de carbonate de chaux.

C'est en 1852 que MM. Dumollard et Viallet ont étab la fabrique de ciment grenoblois, à proximité de cel de la Porte-de-France, qui est beaucoup plus ancienn (Voir « Porte-de-France. ») — La qualité du ciment e à peu près la même. Comme à l'usine de la Porte-de France, on fabrique par les mêmes procédés du *cimen prompt* et du *ciment lent*.

La résistance du ciment grenoblois est considérable elle serait, d'après M. Gentil, ingénieur des ponts chaussées, de 30 kilog. par centimètre carré pour u mortier âgé de cinq mois et formé de volumes égaux d sable et de ciment.

Le poids du mètre cube est à peu près de 1,000 kilog

Dans le gâchage du ciment bluté, la contraction d l'unité de volume est de 0,28; l'augmentation de l'unit de poids est de 0,5.

Un volume de ciment grenoblois peut supporter l mélange d'un volume de sable et de deux volumes d gravier; il en résulte deux volumes et demi de mortie Avec un mélange d'un volume de ciment et un volum et demi de sable, il n'y a pas fendillement.

Usages. — Le ciment grenoblois s'emploie aux même usages que le ciment de la Porte-de-France (voir). — C ciment a été employé dans la construction des bassin du collége de Chambéry, des conduites d'eau de Morest (Isère), celles de Bauzel (Savoie), de l'usine à gaz d Vizille (Isère).

De Guetary ou d'Urrugue (Basses-Pyrénées) (4). — Ciment-limite inférieur.

De la Giudecca (Venise, île de la Giudecca) (3). — L fabrication de ce ciment date de 1854; elle est due à M. Schulze, directeur de l'usine du baron de Rothschild Les calcaires dont on se sert pour faire du ciment proviennent de la Dalmatie, ils sont bitumineux.

On distingue deux variétés de ciment : l'un à cuisson mple, l'autre à cuisson double. Le premier est employé néralement pour toutes les constructions hydrauliques ; deuxième est spécialement consacré aux poteries et aux servoirs en pierre artificielle.

Le ciment de la Giudecca est gris jaunâtre ; il fait une ve effervescence avec les acides et dégage une odeur ès-sensible d'hydrogène sulfuré. — Il perd 23,5 par la lcination. — Il fait prise en 20 minutes, et acquiert omptement une grande dureté.

Il se vend 9 fr. le quintal métrique.

Usages. — Il est employé pour toutes les construc-ons hydrauliques. On en fait des réservoirs, des fon-ines, des tuyaux de conduites pour les eaux, ainsi que s voûtes et des piles de ponts. Il est d'un grand usage Venise.

Du Havre (Seine-Inférieure).— Ciment artificiel fabriqué r M. Le Petit de Sauques, avec de la chaux hydraulique la Hève et de la chaux grasse, auxquelles on ajoute s pouzzolanes artificielles et du sable. La composition ce ciment varie avec les usages auxquels on le destine.

Il se moule très-bien et ne présente pas de gerçures ; n grain est serré ; ce ciment acquiert une très-grande ureté. Il sert à faire des dalles, des moulures, des car-aux, etc.

De Katthammarsah, près de la ville de Wisby, sur la te orientale de l'île de Gothland. — Ce ciment est fa-iqué par M. Hagg.

De Langoen (Akershuus, Norwège) (18). — Fabriqué r M. Hole. — Ce ciment est en poudre jaune foncé ; il rd 8,3 par la calcination ; sa prise a lieu en 5 minutes, est accompagnée d'un échauffement considérable.

Le prix de ce ciment est de 11 francs la tonne norwé-enne.

De Moissac (Tarn). — Fabriqué depuis une quarantaine années par M. Lebrun (26). — Le ciment de Moissac est ie poudre grise ou blanchâtre, qui contient quelque-

fois des parcelles de charbon. — Il fait une légère effer vescence avec les acides, et perd 8,7 par la calcination sa prise est très-lente; elle n'a lieu qu'au bout de dix huit heures.

Le ciment de Moissac ne se fissure pas, lors même qu' est exposé à l'air pendant plusieurs années. Il est trè compacte, complétement imperméable, et ne s'altère pa par la gelée; il peut même être moulé, sans inconvénien par la gelée et rester immédiatement exposé aux intem péries.

Il devient extrêmement dur et résistant. La résistan à l'écrasement du mortier de ciment de Moissac (1 de ci ment et 3 de sable) est de 77 kilogrammes au bout d neuf mois et de 81 kilogrammes au bout d'une anné Elle est supérieure à celle de la brique et un peu inf rieure à celle de la pierre de Beaucaire.

Ce ciment résiste plus à l'usure qu'aucune pierre ca caire. Sa résistance est un peu supérieure à celle d marbre blanc de Saint-Béat, et bien supérieure à cel du calcaire de Belbeze, qui sert à faire des dallages Toulouse. Cette résistance à l'usure diminue quand proportion de sable augmente.

Fabrication. — La fabrication du ciment de Moissac rapproche de celle du ciment de Portland; le calcai argileux est pulvérisé finement, mis en pâte et moulé forme de briques, lesquelles, une fois sèches, sont cu tes à une température très-élevée. — On compose le ci ment de Moissac en y introduisant des matières qui ag sent comme pouzzolanes énergiques, telles que les surcu vitrifiés de fours à chaux, les laitiers et les scories forge, les argiles cuites, ainsi que les parties vitrifi dans la cuisson de la tuile et de la brique. Ces matiè sont mélangées au ciment cuit au moment où on le pu vérise, et quelquefois mélangées à la pierre calcaire ava sa cuisson. Quelquefois aussi on mélange le charbon le coke nécessaire à la cuisson de la pierre calcaire ava que cette pierre soit pulvérisée.

Usages. — Le ciment de Moissac est employé fréquemment par les ingénieurs et les architectes de la Haute-Garonne. Il est employé pour faire des dalles et des carreaux de toutes dimensions. (Voir les rues du Pont et du Coutelier, à Toulouse.) On en fabrique aussi des seuils, des marches d'escalier, ainsi que des corniches et toutes sortes de moulages.

Le ciment de Moissac a été employé pour des restaurations d'églises gothiques, notamment l'église de Saint-Jory. — En 1830, M. Lebrun a moulé de toutes pièces la maison qu'il habite à Moissac. — Les parements et les façades entières de plusieurs maisons de Toulouse ont de même été moulées en ciment. Enfin, le ciment de Moissac a encore servi à faire des voûtes et à construire des ponts, parmi lesquels nous citerons ceux de Montant, de Grisolles, celui de l'écluse d'Alby, qui est composé d'une seule arche de $31^{m}.5$ d'ouverture sur $2^{m}.6$ de flèche.

De NARBONNE (Aude). Fabriqué avec une marne provenant des environs de Narbonne.

D'ONÉIDA (Haut-Canada) (30). Ciment magnésien, fabriqué par M. Martindale, avec une dolomie argileuse. Cette dolomie est terreuse, gris foncé, fait effervescence lente avec les acides et perd 37,5 d'eau et d'acide carbonique par la calcination. — La dolomie d'Onéida appartient au terrain silurien supérieur.

De la PORTE-DE-FRANCE, près de Grenoble (Isère) (11 et 22). — Parmi les fabriques de ciment qui existent dans le département de l'Isère, la plus importante du pays, et, sans contredit, l'une des plus remarquables de France, est celle de la Porte-de-France, près de Grenoble. Elle a été fondée par MM. Arnaud et Carrière, et elle est dirigée par M. J. Vendre.

Calcaire. — Le calcaire qui donne ce ciment s'exploite dans la commune de Saint-Martin-le-Vineux. Sa découverte, faite en 1842, est due aux indications de MM. Vicat, E. Gueymard et Breton. — C'est un calcaire marneux, compacte, gris noirâtre et homogène. Le banc est de

4m.5 d'épaisseur, plonge sous un angle de 75° vers le N.-O
— Il est recouvert d'une couche d'argile de même épais-seur. Ce calcaire est exploité à ciel ouvert. Il est asse dur pour qu'on soit obligé de faire jouer la mine. — I renferme environ 24 p. 100 d'argile.

Ce calcaire trié par des ouvriers expérimentés, est sou-mis à la cuisson dans des fours chauffés à l'anthracite — Au sortir du four, les produits sont de nouveau trié pour en séparer les incuits et les parties scorifiées de parties simplement agglutinées. — Les parties scorifiée forment à peu près le quart de la fournée ; elles don-nent un ciment à prise lente. — Les parties agglutinée donnent, au contraire, le ciment à prise prompte. — L ciment une fois trié, est broyé et bluté.

Le poids du tonneau de ce ciment est au plus de 30 kilogrammes.

Propriétés des deux ciments de la Porte-de-France.

Ciment à prise prompte. — Ce ciment a une couleu jaunâtre foncée ; il perd 3/4 pour cent par la calcinatior — Il fait prise en cinq minutes. Sa dureté va en crois-sant. Sa résistance à la traction est de 2k.55. — Par l gâchage, 1 mètre cube bluté, pesant 1318 kilogramme éprouve une contraction de 0,11. — L'augmentation d poids est de 0,23. Ce ciment doit être préféré pour le travaux hydrauliques ou souterrains. C'est un ciment li-mite inférieur.

Ciment à prise lente. — La couleur de ce ciment es brun très-foncé ou gris ; il est scorifié et se réduit tr facilement en poudre. Il perd 2,70 par la calcination. - Il fait prise en dix minutes. Lorsqu'il est mélangé à so volume de sable, sa prise demande 15 à 20 minutes. S résistance à la traction et de 3 k.60 par centimètre carr — Par le gâchage, 1 mètre cube bluté, pesant 1,375 k logrammes, éprouve une contraction de 0,15. — l'aug-mentation de poids est de 0,21.

Le ciment lent contient un peu moins de chaux que le iment prompt, et, au contraire, plus de silice combiée.

Le ciment à prise lente convient très-bien pour les ravaux extérieurs, surtout lorsqu'ils sont exposés aux itempéries. — De même que le ciment prompt et que ous les autres ciments des environs de Grenoble, il s'alère dans l'eau de mer.

Usages. — Les applications que le ciment de la Portee-France est susceptible de recevoir sont extrêmement ombreuses. Il a été fréquemment employé par les pontst-chaussées, surtout en Algérie; on peut citer les traaux des ports de Cette et de la Joliette.

Le génie militaire s'en est servi au fort des Rousses Jura), à Alger, à Embrun et au Mont-Dauphin, à Brianon.

Le ciment de la Porte-de-France a encore servi pour es travaux du chemin de fer de Lyon à la Méditerranée, u Grand-Central, et du chemin de fer de Saint-Ramert.

Ce ciment, au moyen de la presse hydraulique, sert à aire des marches d'escalier, des dalles, ainsi que des arrelages coloriés très-élégants. — Il prend très-bien le oli, se moule parfaitement bien; on en fait toutes sortes 'ornements, tels que corniches, balustrades, modillons, ases, bas-reliefs, statues, etc. — La statue colossale 'Uriage-les-Bains, représentant le génie des Alpes, est out entière en ciment de la Porte-de-France. Elle pèse lus de 330 quintaux métriques.

Conduites d'eau. — Le ciment de la Porte-de-France st éminemment propre à la fabrication des conduites our les eaux et pour le gaz. — Ces tuyaux sont plus ourds que ceux en fonte, mais cet inconvénient dispaaît, puisque ces conduites se fabriquent sur place. Les onduites en ciment ont l'avantage de ne pas s'engorger ar des concrétions calcaires et ferrugineuses.

Depuis plusieurs années, des conduites d'eau en ci-

ment fonctionnent dans les villes de Grenoble et du Gran Lemps, dans l'Isère ; de Valence et de Romans, dans Drôme; de Chambéry et d'Annecy, dans les départemen de la Savoie et de la Haute-Savoie ; de Philippeville et Sétif, en Algérie, etc., etc.

De Portland anglais (31). — Se fabrique en Angleter depuis plus de trente ans. — A l'intérieur comme à l'e térieur, sa consommation est très considérable. L'Angl terre en exporte principalement de très-grandes qua tités vers le littoral de la mer du Nord. Le *Portla anglais* s'emploie aussi beaucoup en France et même Paris. On s'en est servi notamment dans l'exécution grands travaux d'art dans plusieurs ports de l'Océan.

La supériorité de ce ciment est incontestable, aussi s usage est-il très répandu.

C'est un ciment artificiel que l'on fabrique en méla geant de la craie avec de la vase argileuse. La craie s'e ploite sur les bords de la Tamise, dans les couch moyennes et supérieures de ce terrain. La vase argileu est celle qui est déposée par la Tamise et le Medwa Le mélange boueux, bien homogène, est desséché, p soumis à une assez forte cuisson pour qu'il y ait co mencement de vitrification.

Le poids du mètre cube de ciment de Portland angla en poudre, est de 1,268 kilogrammes. — Sa contracti par le gâchage est de 0,29. — Son augmentation de po est seulement de 0,19. — Il fait généralement prise bout de vingt minutes.

Ce ciment gâché, une fois solidifié, prend une coul qui lui donne une ressemblance éloignée avec le calca jurassique de Portland ; c'est cette ressemblance qui a valu le nom de *ciment de Portland.*

Portland naturel de Boulogne-sur-Mer (7). — Fab qué par MM. E. Dupont et Demarle. — Le calcaire ar leux qui sert à cette fabrication se trouve dans le terr crétacé inférieur. Sa pâte est à peu près homogène contient 19 à 25 pour 100 d'argile. Les proportions

lice et d'alumine, dans cette argile, peuvent varier
ns qu'il en résulte d'inconvénients ; mais il importe
éviter autant que possible le sable : on a donc soin de
jeter tout calcaire qui en contient plus d'un vingtième
son poids.

Propriétés. — Au sortir du four, ce ciment présente
s fragments crevassés par le retrait, ayant une couleur
ise légèrement verdâtre. — Sa poudre est d'une cou-
ur un peu plus pâle.

Le poids du mètre cube bluté et non tassé est de 1,270
1,385 kilogrammes. Ce ciment est plus dense que le
rtland anglais, qui ne pèse généralement que 1,200 à
265 seulement.

Par le gâchage, le Portland de Boulogne éprouve une
ntraction de 0,30. — Le volume d'eau combinée est de
.366, d'après M. Dupont; en poids, 1 de ciment de Port-
nd absorbe donc 0,29 d'eau ; par suite, à poids égal, le
rtland de Boulogne demanderait beaucoup moins d'eau
ie le ciment ordinaire de Boulogne. Cette différence doit
ns doute être attribuée à ce que le Portland de Bou-
gne est cuit à une température très-élevée; la même
use explique aussi la lenteur de sa prise, qui n'a lieu
i'au bout de douze ou même de dix-huit heures.

La prise lente du Portland de Boulogne est un obstacle
son emploi dans les travaux hydrauliques, qui ont à
tter contre des causes immédiates de destruction,
mme, par exemple, les travaux à la mer, qui doivent
exécuter entre deux marées; cependant, il est possible
parer à cet inconvénient en recouvrant provisoirement
Portland de Boulogne par un ciment à prise rapide.

Ce ciment présente un avantage sérieux : il peut être
anié par des maçons ordinaires et se laisse regâcher
rès douze et même vingt-quatre heures.

La résistance de ce ciment à l'écrasement est très-
ande; d'après MM. Belgrand et Michelot elle est de 45
50 kilogrammes par centimètre carré, après une année
immersion, soit en eau douce, soit en eau de mer.

Le Portland naturel de Boulogne présente la mêm composition que la chaux limite de M. Vicat; mais, pa suite de la cuisson à une température élevée, il se pro duit entre les éléments un état particulier de combinai son qui donne à ce ciment les propriétés dont il jouit.

Prix. — Le prix du Portland de Boulogne est de 8 fr le quintal, rendu à Paris et dans les ports du littoral.

Il a été employé avec succès aux ports de Cherbour et de Boulogne.

Portland de Stettin (Prusse) (1). — Ce ciment est fa briqué artificiellement par le procédé de M. le docteu Bleibtren, de Bonn. Ce procédé paraît être le même qu pour le Portland anglais : on mélange du calcaire ave une espèce d'argile exploitée dans les environs de Ste tin.

Ce ciment est d'une couleur gris verdâtre comme ciment anglais. — Par la calcination, il devient bla jaunâtre et perd 10 0/0 d'eau. — Gâché avec l'eau, pu séché, il prend une couleur grise ou bleuâtre.

Il y a deux variétés de ciment de Stettin : une à pri prompte, l'autre à prise lente. — La première fait pri en quelques minutes, la deuxième ne prend qu'en que ques heures.

La résistance à la traction est supérieure à 3k.31. poudre, le ciment de Stettin pèse 75 livres le pied cub — Tassé fortement, son poids s'élève à 105 livres. — sable qui, à Berlin, est mélangé avec ce ciment, pèse livres le pied cube, et, lorsqu'il est tassé, il pèse 105 vres, c'est-à-dire autant que le ciment lui-même.

Le gâchage se fait avec un poids égal seulement au tie de celui du ciment. La proportion de sable à mélang pour faire le mortier peut s'élever à 6 et même à 7 v lumes ; mais la cohésion du mortier diminue rapid ment, et elle devient très-faible pour 1 volume de cime et 7 volumes de sable. Il est nécessaire que le sable e ployé soit bien exempt d'argile.

Usages. — Le Portland de Stettin a les propriétés

ortland anglais. On s'en sert pour une foule d'usages ans les constructions ; on en fait aussi des dalles, des orniches, des moulures, des conduites d'eau, des objets 'ornement, des marbres artificiels.

De Pouilly (Côte-d'Or) (24). — C'est un ciment ordi-aire.

De Québec (Bas-Canada) (20). — Le calcaire argileux qui ert à faire ce ciment provient du terrain silurien infé-ieur; il est compacte, sans fossiles, fortement coloré en oir par une matière bitumineuse.

Le ciment de Québec est jaune et fait une faible effer-escence avec les acides; il perd 11,6 par la calcination eau et acide carbonique). — Il fait prise en vingt-cinq inutes. — Sa résistance à la traction est de 0k.49.

De Roquefort (Bouches-du-Rhône). — L'importante sine de Roquefort est dirigée par le comte de Villeneuve. n y fabrique deux variétés de ciment : le ciment ordi-aire et le ciment appelé *gris*. Le premier s'obtient par a cuisson d'une marne du terrain néocomien. — Son prix st de 3 fr. 25 environ.

Le ciment gris s'obtient avec les parties qui ont subi ne cuisson très-élevée, c'est-à-dire les surcuits. Sous ce apport, ce ciment se rapproche du ciment de Portland, t il acquiert, comme lui, une grande cohésion.

Il coûte le double du ciment ordinaire.

Les ciments de Roquefort ont été employés au canal de [arseille, au chemin de fer de Marseille à Avignon, au outerrain de la Nerthe, qui a 4,620 mètres de longueur, u grand pont sur le Rhône.

De Saint-Sébastien, en Guipuzcoa (Espagne) (13). — Ce iment provient de marnes bleues du lias. Il est brun unâtre, perd environ 13 pour 100 d'eau et d'acide car-onique par la calcination. — Il fait prise en dix minutes. - Son prix est de 40 fr. le mètre cube. — Il résiste très-ien à la mer.

De Thorold, à Sainte-Catherine (Haut-Canada) (19). — e calcaire argileux qui fournit ce ciment appartient au

terrain silurien supérieur; il est gris noirâtre, et donn une odeur argileuse par insufflation.

Le ciment de Thorold est jaune, ne fait pas efferves-cence avec les acides, et contient seulement $3^m.37$ d'eau Il fait prise en quinze minutes. — Sa résistance à la trac tion est de 0k.85. — Ce ciment coûte 5 fr. 37 le baril pe sant 300 livres anglaises ou 136 kilogrammes.

Il en a été consommé des quantités considérables pou la construction du pont-tube Victoria. — Il est employ dans tout le Canada, et même exporté aux Etats-Unis.

D'Ulm (Wurtemberg) (17). — La fabrication de ce ci ment remonte à 1838. Elle est dirigée, à Ulm, par M. l docteur Leube. Depuis 1854, le ciment d'Ulm se fabriqu également à Weiler et à Allmendingen.

La roche qui fournit ce ciment est un calcaire jurassi que peu homogène, auquel il est nécessaire d'ajoute tantôt de l'argile, tantôt du calcaire, pour lui donner un composition régulière.

La cuisson est ménagée de manière que le ciment n soit pas scorifié.

Le mètre cube de ciment d'Ulm en poudre pèse 875 k logrammes. — Sa prise a lieu en quatre minutes, av un échauffement considérable. La densité de ce cime est très-grande; il ne se fissure pas. — Sa résistance à traction est au minimum de 1k.17.—Son prix est de 3 fr. le quintal wurtembergeois.

Usages. — Le ciment d'Ulm est employé à tous les tr vaux hydrauliques; il sert aussi à faire des dalles, d trottoirs, des appuis de fenêtre, des bassins, des tuya de conduite pour les eaux.

Ce ciment a été employé au grand pont du chemin fer sur le Danube, aux fortifications d'Ulm, etc.

D'Urrugue (Voir ciment de Guetary).

De Vassy-lez-Avallon (Yonne) (8). — Fabriqué dep 1832 par M. J.-B. Gariel.

C'est en 1831 que M. Gariel découvrit les carrières ce ciment naturel, à Vassy, près Avallon. Depuis, l'usi

; M. Gariel a toujours été seule à fabriquer ce produit ıns la localité, et l'exploitation se fait sur une échelle sez considérable pour occuper 2,500 ouvriers : soit 200 ɔur l'extraction du calcaire, 150 pour la fabrication et service des machines, 120 pour la confection des barques, etc., 500 maçons, gâcheurs et manœuvres, à l'exéıtion des travaux de ciment entrepris par l'exploitation, notamment les grands travaux des ponts-et-chaussées du génie militaire. Auxquels ouvriers il en faut join-:e 1,500 autres appartenant, pour ainsi dire, à tous les ırps de métiers : tailleurs de pierre, poseurs, bardeurs, ɜrrassiers, charpentiers, forgerons, etc.

En sus de ces 2,500 ouvriers environ occupés par l'ex-loitation de Vassy, 120 chevaux sont employés pour ettre en mouvement plusieurs meules et blutoirs, et ɔur transporter le calcaire à l'usine et le ciment au port 'embarquement.

Enfin, une machine à vapeur de la force de 50 cheıux fait encore fonctionner différents appareils de l'une.

La fabrication journalière peut s'élever à 65,000 kilog. ɜ ciment, soit 23,400,000 kilog. par année.

Le ciment de Vassy provient d'un calcaire argileux et ıagnésien dur, d'une couleur bleu-cendre, qui se trouve ımédiatement au-dessus du liais. Voici sa composition :

Carbonate de chaux.	63.8
— de magnésie.	1.5
— de fer.	11.6
Silice.	14.0
Alumine.	5.7
Eau et matières organiques.	3.4
	100.0

La cuisson du ciment a lieu dans des fours à chaux à ıu continu et chauffés à la houille. Le calcaire à ciment e Vassy perd près de 40 pour 100 de son poids par la ılcination ; sa couleur devient jaune terne.

Au sortir des fours, le ciment est trié, puis broyé sous des meules verticales, puis bluté, et enfin enfermé dans des barriques goudronnées et garnies à l'intérieur, pour en faciliter le transport et en assurer la conservation.

En cet état, le ciment de Vassy se conserve pendant plus d'une année sans rien perdre de ses qualités essentielles, à condition de le placer dans un lieu bien sec et hors de contact avec le sol.

Action de l'humidité. — Le ciment de Vassy s'avarie par l'humidité de l'air ambiant. — Cette avarie se manifeste d'abord au contact des parois de la barrique, puis gagne lentement mais progressivement le centre ; il arrive souvent que le contenu d'une barrique est avarié à la surface, tandis qu'il est d'une excellente qualité au centre.

« Pour que le ciment, disent MM. Claudel et Laroque, puisse être réputé non avarié et propre à un bon emploi, il faut que les fragments non désagglomérés que l'on retire de la barrique cèdent facilement sous la pression des doigts, et que sa couleur n'ait éprouvé aucune altération, c'est-à-dire ne soit pas devenue blanchâtre. On est quelquefois obligé d'employer des barres de fer pour retirer le ciment des barriques, et souvent il faut avoir recours à la truelle du gâcheur. »

Poids. — Le ciment de Vassy pèse 900 kilog. le mètre cube au sortir du blutoir ; lorsqu'il est tassé dans les barriques, son poids est de 1,200 kilog.

Densité. — Ce ciment étant très-compressible, sa densité est très-variable, ainsi que le fait voir le tableau suivant, emprunté à la *Pratique de l'art de construire*, de MM. Claudel et Laroque :

	Densi[té]
Mesuré libre, litre par litre, à la sortie du blutoir.	0,8[…]
Comprimé dans les barriques pour être livré à la consommation.	1,1[…]
(Au-delà de ce degré de compression, il ac-	

Densité.

uiert avec le temps une force d'expansion suf-
sante pour briser l'enveloppe.)

On peut, par la compression, arriver à. . . . 1,50

(Dans cet état, les barriques se briseraient
romptement.)

Retiré des barriques et mesuré immédiatement
ar petites parties au moment de l'emploi, de
ombreuses expériences ont donné. 0,96

(Cette dernière valeur doit être prise pour
ise dans tous les calculs de sous-détails de tra-
ux.).

Prise. — Le ciment de Vassy fabriqué avec le calcaire
es bancs supérieurs fait prise en deux ou trois minutes;
lui fait avec les bancs inférieurs demande six minutes.
uand on élève la température de la cuisson, la durée
e la prise est de quatre à cinq heures. Au bout de six
ois, la résistance à la traction est environ de 18 kilog.
ans les grandes chaleurs, et quand le ciment est de ré-
nte fabrication, l'ouvrier le plus exercé a besoin de dé-
elopper une grande activité pour l'employer dans de
onnes conditions. L'intervalle entre le moment du gâ-
age et celui du durcissement augmente avec l'âge du
ment, l'abaissement de la température et la quantité
e sable, surtout si celui-ci est humide, et il peut s'éle-
er jusqu'à une demi-heure en été et une heure en hiver,
ns que le ciment ait perdu de ses autres qualités. Au
oment où commence le durcissement, et pendant que
opère la combinaison, la température du mortier sans
ble atteint quelquefois 65 degrés.

Le ciment de Vassy s'emploie sous la forme de mortier,
ec ou sans sable, en y ajoutant une quantité d'eau
ale à la moitié de son volume; cette quantité d'eau
rie un peu suivant la température et d'après le degré
humidité du sable.

Un mètre cube de ciment en poudre, pris à la densité
0,96 et converti en mortier sans mélange de sable,

perd 17 pour 100 de son volume, et ne donne que 0m.83[illegible] de mortier.

Le ciment de Vassy s'altère à la mer.

Le ciment de Vassy est rarement employé pur : on l[illegible] mélange ordinairement avec une certaine quantité d[illegible] sable dur débarrassé de vase et de matières terreuses On obtient ainsi un mortier plus résistant, moins sujet [illegible] se fendiller à la surface, et beaucoup plus économique Les mortiers de ciment pur ne sont guère en usage qu pour les cas où un durcissement instantané est néces saire, par exemple, pour l'étanchement des sources, dan les radiers des bassins et écluses, ou pour d'autres ca analogues.

Prix et commerce. — La quantité de mortier obtenu avec le ciment de Vassy est à peu près proportionnell au poids du ciment employé ; c'est pour cette raison qu le prix de celui-ci est fixé d'après le poids et non selo le volume.

Il est d'usage, dans le commerce de ciment de Vass[illegible] de compter le poids des barriques au même prix qu leur contenu. Le poids de l'enveloppe varie de 0,08 0,12 du poids total, suivant la densité et l'épaisseur d bois, soit 0,10 en moyenne. Chaque barrique contient [illegible] 100 à 235 litres de ciment, et pèse de 130 à 300 kilog.

Usages. — Le ciment de Vassy est employé pour construction des souterrains, ponts, aqueducs, égout bassins, conduites d'eau, etc., dont on fait la maçonner en hourdant les matériaux avec du mortier de ciment [illegible] avec des pierres factices moulées sous différentes form et composées de ce mortier agglutinant des éclats meulière.

La plus grande partie des égouts de Paris se font a jourd'hui en maçonnerie de meulière brute et cime bloqués dans des coffres.

Ce ciment a été également employé avec succès à restauration d'un grand nombre de constructions hydra liques et monumentales, dont la ruine faisait de rapid

rogrès, ainsi qu'à faire des ouvrages neufs devant réuir la solidité et la légèreté, tels que cloisons en briques, oûtes, etc.

On emploie aussi ce ciment pour faire des scellements e toutes sortes, préférables à ceux effectués en plomb u toute autre matière.

La rapidité de sa solidification le rend très-propre à la eprise des murs en sous-œuvre, en assurant l'incomressibilité des maçonneries.

Son imperméabilité le rend très-utile pour la consruction des bâtardeaux et des conduites de toute espèce, insi que pour l'étanchement des sources, des fuites l'eau, etc.

Travaux exécutés. — Disons d'abord que la plupart les devis prescrivent l'emploi du ciment de Vassy pour es travaux de l'Etat.

Les travaux exécutés avec le ciment de Vassy sont telement nombreux qu'il serait trop long de les énumérer ci, même en se bornant aux plus importants. Dans Paris eulement, M. Gariel a reconstruit les Pont-aux-Doubles, le Notre-Dame, d'Austerlitz, d'Arcole, le Petit-Pont, le pont Napoléon, à Bercy; de l'Alma, des Invalides. Il a exécuté plus de 10,000 mètres d'égouts neufs avec des pierres artificielles formées de meulière et de ciment. Il a pratiqué deux tunnels sous le canal de l'Ourcq sans interrompre la navigation.

En France, il a construit pour le canal du Midi un pont-canal par dessus la rivière de l'Orb, à Béziers; pour le chemin de fer du Midi, un viaduc sur l'Aude; le pont sur la Seine, à Pont-de-l'Arche. Il a entrepris de grands travaux pour les canaux, les chemins de fer, les ports de Marseille, d'Alger, de Dieppe, de Mers-el-Kébir. — Les égouts d'Oran (Algérie) sont en ciment de Vassy. — Pour énumérer les travaux auxquels M. Gariel a pris part, il faudrait en quelque sorte mentionner une partie des principaux travaux publics entrepris en France dans ces dernières années.

De VITRY-LE-FRANÇAIS (Marne) (6). — Exploité depui 1850 par MM. Rozel et de Menisson, maîtres de forges a Clos-Mortier (Haute-Marne). — C'est en 1850 qu'une tranchée faite pour l'établissement du chemin de fer d Strasbourg, fit découvrir une couche de marne grisâtr et plastique, qu'on reconnut propre à la fabrication d ciment.

Il y a deux variétés de ciment de Vitry ; le ciment *brûl* et le ciment *vif;* elles sont cuites à des degrés différents et n'ont pas la même composition.

Le ciment brûlé est celui qui a été cuit à une température très-élevée ; il est gris verdâtre comme le Portland Sa prise est très-lente et est accompagnée d'un retrai considérable. Il est très-propre à faire des conduits minces qui doivent être exposés à l'action de l'air. — Tamisé il peut servir aux moulages les plus délicats. — On l'emploie avec un quart de sable.

Le ciment vif est jaune pâle, d'un aspect agréable. Sa prise est assez rapide pour gêner le travail de l'ouvrier Il devient très-dur sous l'eau ; mais il n'en est pas de même lorsqu'il est à l'air. — Sa dureté est moins grande que celle du ciment brûlé. On y ajoute un tiers de sable — Il est très-bon pour les ouvrages qui séjournent sous l'eau.

Le ciment de Vitry-le-Français a été employé pour les travaux des chemins de fer de Paris à Strasbourg et de Saint-Dizier à Gray.

Ce ciment et d'aussi bonne qualité que le ciment de Vassy.

Ciment Portland LAFARGE.

On ne doit pas oublier de citer, parmi les ciments utiles à connaître par leurs qualités, le ciment Portland-Lafarge, fabriqué concurremment avec la chaux du Theil.

Voici la composition de ce ciment d'après l'analyse qui en a été faite à l'Ecole des ponts-et-chaussées :

Silice.	35.75
Alumine et protoxyde de fer. . . .	4.55
Chaux.	50.10
Magnésie.	1.00
Acide carbonique, etc.	8.60

Il faut toujours le mélanger à sec et d'une manière très-intime avec le sable. Ce mélange peut se faire à bras ou au malaxeur mécanique.

On y ajoute ensuite le volume d'eau nécessaire de 10 à 18 0/0.

Poids du mètre cube de ciment non tassé, 1,100 kilogrammes.

Eau nécessaire pour gâcher 1,200 kilogrammes pur, 350 litres.

Contraction qu'éprouve le mélange, $0^{m}.25$.

Donc, pour faire 1^{m3} de pâte de ciment, il faut :

Ciment.	1375 kil.
Eau.	465 litres.

Ce ciment, dit quelquefois de Grappin, donne des produits remarquables par leur résistance.

Ainsi, une série de prismes en ciment pur, immergés de sept à vingt-huit jours, ont présenté une résistance exigeant des poids de 13 à 18 kilog. par centimètre carré.

Des blocs de sable et ciment, après soixante-dix-huit jours d'immersion, ont présenté des résistances exigeant de 5 à 16 kilogrammes par centimètre carré pour déterminer la rupture.

Il est très-recommandé pour les dallages, pour les confections de briques pour souterrains. Ces briques résistent parfaitement à la gelée, etc., etc.

L'origine de la fabrication de ce ciment est assez intéressante. Elle confirme tout ce que nous avons dit au sujet de l'influence du degré de cuisson du calcaire, sur la nature des produits obtenus, et elle peut servir de guide dans une fabrication de chaux pour obtenir aussi du ciment.

Les carrières d'où l'on extrait la chaux du Theil, fon partie des marnes néocomiennes inférieures, et consti tuent l'assise connue sous le nom de calcaire à criocères

Lors de la cuisson des chaux, avant de les bluter aprè leur extinction, on rejette les incuits, et on trouve ensuit dans le blutoir des concrétions calcaires semblables des gros sables, qui sont des surcuits, et forment pa eux-mêmes des ciments.

C'est l'existence de ces surcuits qui a conduit à étudie un nouveau degré de cuisson convenable du calcair pour le transformer directement en un ciment de bonn qualité.

Proportion du sable à mélanger au ciment.

150. Le ciment pur est préférable dans certains travaux, comme l'espèce de replâtrage des cuves de gazomètre; mais comme en y mêlant du sable on fait un économie, et comme on obtient encore, en conservan des proportions raisonnables, des joints d'une force égal à celle des briques, rien ne force, dans les circonstance ordinaires, à se servir de ciment pur.

Nous devons mentionner une différence qui existe entre la chaux hydraulique et le ciment romain, sous le rapport de la quantité de sable que l'on peut y mélanger : de ce que toutes les chaux prennent du développement après avoir été hydratées, le sable s'y lie, s'y incruste mieux que dans le ciment dont le volume ne change pas et qui est toujours affaibli par le sable; et il en résulte que, dans la fabrication du béton, par exemple, pendant qu'il suffira d'une mesure de chaux pour sept à huit mesures de gravier et de sable, il faudra huit mesures de ciment pour la même quantité de gravier et de sable, si l'on veut avoir un béton au ciment aussi supérieur à un béton à la chaux que l'est un mortier de ciment à une mortier de chaux hydraulique. De manière que, dans beaucoup de travaux, la chaux hydraulique est préférable au ciment, sous ce rapport.

« On a trouvé, dit M. Pasley, dont nous ne partageons
ıs entièrement les idées, que les deux tiers d'une me-
ıre de ciment en poudre, qui équivalent à une mesure
e ciment sortant du four, ne peuvent pas supporter plus
e quatre tiers de mesure de sable, c'est-à-dire une me-
ıre de ciment pour deux mesures de sable. L'expé-
ence a même prouvé que cette proportion de sable
ait trop forte pour une mesure de ciment en poudre.
utrement la prise se retarde et le ciment est friable.

« Il faudrait peut-être faire attention que le ciment ne
rend rapidement que quand on le façonne en petites
oules, ou quand on en fait des joints très-minces. Dans
s boules qui sont grosses ou dans les joints épais, la
rise immédiate ne se fait qu'aux environs de la sur-
ıce, et elle ne pénètre que très-lentement jusqu'aux cen-
res, qui peuvent rester fort longtemps dans un état im-
arfait. Cette propriété est commune aux mortiers, aux
étons, dont les masses prennent plus lentement aux
entres qu'aux surfaces. Et puis, il est hors de doute
ue le ciment est toujours affaibli par le sable, en quel-
ue petite quantité que se trouve cette matière ; ainsi, si
outes les matières étaient à aussi bon marché, le meil-
eur serait, dans certains cas, de se dispenser du sable. »

M. Pasley dit qu'il s'est convaincu de la vérité de ces
ıssertions par de nombreuses expériences : la seconde,
n particulier, peut se vérifier, selon lui, en mélangeant
ın peu de la meilleure poudre de ciment avec trois ou
ıuatre fois autant de sable fin : l'on verra que la pâte
ıvec laquelle on aura fait une boule, au lieu de prendre,
restera friable et s'émiettera aussi bien sous l'eau qu'à
'air. En tous cas, le ciment prend beaucoup plus vite et
se lie bien plus fortement avec les briques et les pierres
quand il est pur, sans aucun mélange de sable, pourvu
que les joints soient minces, c'est-à-dire qu'ils n'excèdent
pas 12 millimètres.

Force d'adhérence des ciments.

151. Les différentes parties d'une construction se mai tiennent en place en raison des lois physiques, mathé matiquement déduites, ou en vertu des qualités d'adhé rence des matières qui servent à cimenter les matériau

Sous le rapport de la solidité, on détermine les d mensions et les formes d'un édifice, pour qu'il résis aux efforts auxquels il est soumis, en ne prenant, pou ainsi dire, que le volume et la forme de la matière e considération; on se sert de formules, dont les *valeur* devraient être exactes, et qui sont déduites des lo établies et vérifiées depuis plus ou moins longtemp Sans des circonstances étrangères à ces lois, et sans l transformation destructive qui s'opère continuellemen dans toute la nature, on conçoit qu'une constructio pourrait être éternelle.

Mais, c'est en dehors, si je puis m'exprimer ainsi, de lois dont je viens de parler, que je vais rechercher la so lidité que peut avoir une construction, sans autre se cours que la force d'adhérence des ciments. C'est don si le ciment était inerte, dans des contradictions des loi reçues, que je vais puiser mes exemples de solidité. J crois ne pas avoir besoin d'insister sur ce que je n'en tends rien annoncer d'une manière absolue et exclusive ni sur ce que, en m'occupant de la question de construc tion sous ce nouveau jour, ce n'est que pour faire res sortir d'une manière saisissante l'immense importanc de la qualité et de la préparation des matériaux.

C'est Brunel qui a ouvert ce nouveau champ aux étu des des constructeurs, en élevant, au moyen de la seul force d'adhérence du mortier dans lequel il a fait entre des substances fibreuses ou métalliques, deux demi-ar ches de pont, qui sont venues prouver que les arches d la plus grande dimension, comme celles des ponts e pierre et même des ponts en fonte, peuvent être exécu-

es en briques ou en fragments de démolition, sans le
cours d'échafaudages, et que même on peut les aban-
onner sans appui, avant que la voûte formée par l'arche
oit complétement fermée au moyen de la clef. Alors, on
est ressouvenu des expériences faites à Paris par Mes-
eurs Lacordaire, Mallet et Lefroy, avec le *ciment de*
ouilly, et dans l'une desquelles ces ingénieurs posèrent
ix-huit briques collées ensemble l'une contre l'autre, avec
e ciment, et faisant saillie sur un mur, sans emploi
'aucun soutien ni matières fibreuses. Depuis, quelques
ersonnes se sont préoccupées de la question, surtout
. Pasley, qui a fait à ce sujet de nombreuses expé-
iences, qui sont en partie mentionnées dans le chapitre
ui traite des *ciments artificiels*.

152 Les deux demi-arches de Brunel ont été bâties en
riques ordinaires, près de l'entrée du tunnel, elles par-
aient d'un seul pilier central (fig. 43), comme deux bran-
hes qui s'étendent de deux côtés opposés du tronc d'un
rbre; l'une avait 18m.35, et l'autre 11m.25 de longueur;
lles étaient à la hauteur, la première de 3m.19, et la se-
onde de 3m.04; le bout de cette dernière était chargé
'un poids de plus de 20,000 kilogrammes, suspendu
omme on le voit dans la figure 43, qui représente en
lévation cette construction extraordinaire. Le côté nord
tait plein; mais au côté opposé, il y avait sept petites
rches projetées.

Le pilier d'où partaient ces deux demi-arches, avait
n tout 3 mètres de hauteur et 1m.20 de largeur. Il était
tabli en pavés de Yorkshire, de 0m.076 d'épaisseur, et
'entrait dans le sol, au-dessous de la surface, qu'à
m.204 de profondeur. Les demi-arches elles-mêmes avaient
n peu plus d'un mètre de large.

Cependant on sait bien que le ciment pur (c'est-à-dire
exempt de sable) ne peut supporter qu'un nombre limité
le briques, et que, dans une construction du genre de
celle dont je viens de parler, quelle que soit la force d'ad-
hérence d'un ciment quelconque, et lors même qu'une

projecture serait formée d'un seul bloc naturel, on n
pourra toujours pas excéder, au point extrême, le poid
équivalent de la force d'adhérence que possède un ci
ment, ou de la puissance de cohésion qui lie les molécu
les d'une masse naturelle. Il ne faut donc pas suppose
qu'il serait possible de rencontrer une matière quelcon
que qui puisse, sans aucun secours et par la seule pro
priété d'adhérence, aussi énergique qu'on la suppose
servir à lier des matériaux, de manière à construire e
saillie, hors des lois de l'équilibre, au-delà de certaine
proportions en rapport avec cette force d'adhérence. Or
il faut, si l'on veut éviter comme Brunel, l'emploi de
charpentes d'échafaudage pendant l'exécution des voû
tes, ou les abandonner sans appui avant qu'elles soien
terminées, ou ajouterà la quantité intrinsèque du cimen
le concours simultané d'une autre puissance. Brunel
eu recours à des bandes de fer plat, du fil-de-fer et mêm
du chanvre ou autres substances fibreuses.

Le 31 janvier 1838, ces deux demi-arches tombèren
et l'on attribua leur chute à la gelée; mais on reconnu
ensuite qu'un dérangement dans le pilier en était seul l
cause. Elles avaient été quatre ans en construction, e
en tombant, elles se sont partagées en plusieurs mor
ceaux. On a remarqué que les fractures s'étaient faite
aux endroits où les travaux avaient été suspendus pen
dant un certain temps, ce qui a pu provenir de ce qu
la surface ancienne sur laquelle on mettait du cimen
pour ajouter une nouvelle portion de maçonnerie, éta
peut-être couverte d'une crasse produite par l'atmo
sphère et la fumée.

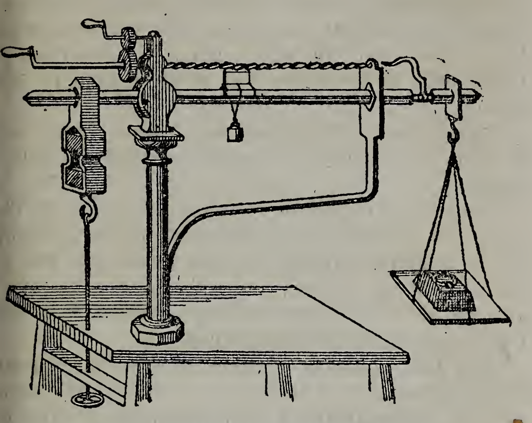
On emploie au laboratoire d'analyse de l'école de
ponts-et-chaussées, pour essayer les ciments, l'appare
représenté dans la figure ci-après, et dans lequel o
emploie la disposition de cémentation indiquée ci-contre

Cet appareil se compose d'une bascule romaine, mon
tée sur un banc solide. La mâchoire qui saisit les bri
ques, est suspendue au levier de la bascule et à une tig

:e montée sur le banc. On dispose dans le plateau de la scule, les poids nécessaires pour l'arrachement, et on termine celui-ci en déplaçant au moyen d'une vis sans montée sur une roue mue à la main, le poids glissant long du levier.

Cette machine a été modifiée en Angleterre par M. Mi-ele.

La mâchoire dans laquelle sont enfermées les briques pierres cimentées, est suspendue sur un levier à ar-



Appareil pour essayer la résistance des ciments.

:ulation muni d'un contre-poids, et fixée par sa partie férieure sur un segment de cercle denté, engrenant ec une vis sans fin, entaillée sur un axe horizontal qu'on ut tourner à la main. En abaissant ce second point ıttache, on relève par contre le contre-poids corres-ndant à la partie supérieure, et une échelle graduée termine la valeur des efforts proportionnés à ceux du lèvement. Cette machine ressemble à certains petits ap-reils employés pour peser les lettres.

CHAPITRE VIII.

Ciments artificiels.

153. La fabrication du ciment artificiel n'est deven industrielle que bien longtemps après celle des cha hydrauliques artificielles. Cela a tenu à deux raison l'inexactitude, ou plutôt l'incertitude des idées sur l ciments qui subsista longtemps, enfin certaines diffic tés, ou, pour être plus exact, certaines précautions pr tiques dans la fabrication qui furent longtemps nég gées.

Aujourd'hui la fabrication des ciments artificiels devenue aussi courante et aussi pratique que celle d chaux.

C'est surtout depuis les derniers travaux de M. Vic depuis les études faites à propos des qualités présent par les matières à l'action de l'eau de mer par MM. Ch toney et Rivot, travaux dont nous parlerons plus loi que les idées reçurent une base certaine sur la cons tution réciproque des chaux et ciments.

Ainsi MM. Chatoney et Rivot montrèrent combien degré d'homogénéité était une condition indispensal pour la bonne qualité d'un produit. Or, si l'on ti compte des différences relatives de proportions dans matières que l'on a à mélanger ensemble pour obteni la cuisson un ciment, on comprend facilement combi si cette précaution n'est pas bien observée, on peut ê amené à avoir un produit défectueux.

Et en effet, la fabrication des ciments artificiels n' devenue pratique, que le jour où cette question de t turation et de mélange a été résolue d'une façon satisf sante, et est devenue l'opération principale de cette brication, comme on le verra par la description procédés employés.

Le premier travail important sur cette question des ments artificiels, bien qu'il ne résolve pas la question, t dû au major-général Pasley.

Travail de M. Pasley.

154. Ce travail très-long et très-volumineux donne la scription d'une série de nombreuses expériences, faites essayant divers mélanges de toutes les substances verses qui entrent dans les matières hydrauliques, et erchant la proportion de celles qui forment un ci-ent.

Les pierres ou autres matières étaient porphyrisées, élangées de façon à former des boulettes d'environ .25 de diamètre, qu'on séchait lentement puisqu'on isait au rouge.

On pulvérisait ensuite ces boules cuites, et on essayait ydraulicité du produit ainsi obtenu.

M. Pasley s'est servi des matières suivantes :

1° Carbonate de chaux, — craie pulvérisée.

2° Silice, — Silex broyés.

3° Alumine pure, — obtenue par la décomposition du lfate d'alumine au moyen du bicarbonate de potasse.

4° Silice et alumine, — terre à pipe du Dorsetshire.

5° Protoxyde de fer, — battitures broyées au mortier.

6° Oxydes métalliques divers de l'industrie.

Les glaises, argiles et carbonates étaient mesurés à tat humide, les autres ingrédients à l'état sec.

Il a essayé une quantité de mélanges. Voici les résul-s obtenus pour quelques-uns :

Carbonates de chaux et oxydes métalliques, sans aucun sultat.

Carbonate de chaux et silice. Ce mélange, d'abord sans cun résultat, produisit après de nouveaux essais un oduit hydraulique par un mélange à poids égaux.

Carbonate de chaux et alumine. Mélange produisant un

ciment hydraulique, peu solide ; mélange : parties é
les à la mesure de craie pulvérisée et argile en pâte.

Carbonate de chaux et magnésie. Mauvais ciment.

Carbonate de chaux, silice et alumine. 4 mesures
craie en poudre, 1 de pâte de silice, 2 de pâte d'alum
forment un bon ciment

Le mélange de 5 mesures de craie et 2 de terre de p
est préférable.

L'addition d'un peu d'oxyde de fer augmente la q
lité du produit.

Carbonate de chaux, silice, alumine et carbonate de
gnésie. 5 mesures de craie, 2 de terre de pipe, 1 de
bonate de magnésie donnent un excellent ciment, m
avec un produit brûlé.

Il opéra ensuite sur des mélanges de produits natu

Craie et glaise bleue d'alluvion, ou glaise brune d'a
vion, ou surface d'argile de rivières, ont donné des
ments hydrauliques, à condition que les matières
langées avec la craie soient fraîchement tirées, car s
les garde quelque temps, elles perdent cette propr

Ces expériences furent poursuivies avec tous les
duits du même genre, et de tous ces essais, M. Pa
concluait :

Il me semble que n'importe quelle fine argile, soit
luvion ou de carrière combinée avec la craie, ferai
excellent ciment hydraulique artificiel, pourvu qu
n'ait pas été exposée à l'action de l'atmosphère, soit
son emplacement naturel, soit après en avoir été

Adhérence des ciments factices de M. A. Pasley.

155. Sans nous étendre davantage sur ce travail
nous n'aurions à tirer que les conclusions que l'on
vera plus loin et mieux justifiées surtout dans le
moire de MM. Chatoney et Rivot, nous donneron
résultats obtenus par l'adhérence des ciments pro

Je dois d'abord prévenir le lecteur que M. Pasley se rt des signes C B pour indiquer la craie et l'argile bleue ılluvion mélangées en proportions égales, en poids ; B^5 pour exprimer un mélange de 4 parties de craie de 5 parties d'argile bleue, etc., comme on le voit dans tableau ci-après, où se trouvent les proportions en ›sures.

Tableau des mélanges de ciments essayés en 1836.

PROPORTIONS EN POIDS.			ÉQUIVALENTS A LA MESURE.	
Mélange de C, craie,	et de B, argile bleue.	Ou de craie en poudre sèche avec argile bleue fraîche.	Craie en poudre sèche mesurée à la légère avec l'argile bleue.	Pâte dure de craie et argile bleue.
C	B	1 pour 1	5 pour 2 $^1/_4$	1 pour 1 $^1/_8$
C^4	B^5	1 pour 1 $^1/_4$	5 pour 2 $^1/_9$	1 pour 1 $^7/_{18}$
C^3	B^4	1 pour 1 $^1/_3$	5 pour 2 $^{26}/_{27}$	1 pour 1 $^{13}/_{27}$
C^2	B^3	1 pour 1 $^1/_2$	5 pour 3 $^1/_3$	1 pour 1 $^2/_3$

TABLEAU de la ténacité comparative d'un ciment for
par diverses proportions de craie et d'argile bleue.

No de l'expérience avec chaque mélange.	Proportions, en poids, du mélange de C (craie) et de B (argile bleue), formant un ciment artificiel ; et indications si l'assemblage était un massif de briques, ou une partie d'un massif ou d'un pilier qui avait déjà été soumis à l'expérimentation.	Nombre de jours de prise du ciment.	Poids qui rompit l'assemblage.	Endroi où la fract eut lie
			kilog.	
1	No 1. Massif. . . .	35	445	Joint.
2	No 2. Massif. . . .	35	706	Joint.
3	CB Morceau.	58	953	Joint.
4	Reste du no 1. . .	68	691	*Brique*
5	Reste du no 2. . .	68	854	Joint.
1	No 1. Massif. . . .	38	955	*Appare*
2	Massif.	38	955	*Appare*
3	Massif.	38	1082	*Appare*
4	Massif.	38	1057	*Appare*
5	C^4B^5 Massif.	40	1208	*Brique*
6	No 2. Massif. . . .	40	955	*Brique*
7	Morceau.	65	1475	*Brique*
8	Reste du no 1. . .	74	1233	*Brique*
9	Reste du no 2. . .	74	1412	*Brique*
1	No 1. Massif. . .	39	752	Joint.
2	Reste du no 1. . .	39	498	*Brique*
3	C^3B^4 No 2. Massif. . . .	39	778	Joint.
4	Reste du no 2. . .	39	600	Joint.
5	Morceau.	69	1143	*Brique*
6	Morceau.	74	2028	*Brique*
1	No 1. Massif. . . .	39	651	Joint.
2	No 2. Massif. . . .	42	600	Joint.
3	Morceau.	65	890	Joint.
4	C^2B^3 Morceau.	74	1816	*Brique*
5	Reste du no 1. . .	75	1004	Joint.
6	Reste du no 2. . .	75	727	Joint.
7	Morceau.	91	1793	Joint.

cherches sur les propriétés diverses que peuvent acquérir les pierres à ciment et à chaux hydrauliques par l'effet d'une cuisson incomplète, par M. P.-S. Vicat.

156. On sait que les chaux hydrauliques deviennent s ciments quand la proportion de l'argile s'y élève ın certain degré. Dans cette transition, on remarque s composés qui sembleraient devoir participer des aux éminemment hydrauliques et des ciments, et qui, réalité pratique, ne sont ni l'un ni l'autre. Ces comsés, que M. Vicat a cru devoir désigner sous le nom de *aux-limites*, étant complètement cuits (c'est-à-dire enrement dépouillés d'acide carbonique) et traités comme nent, débutent absolument comme ceux-ci, mais la hésion instantanément acquise se perd en quelques ures par l'effet d'une extinction tardive, qui, au lieu produire une chaux hydraulique, ne donne qu'une pèce de *caput mortuum* presque sans valeur.

Les calcaires à chaux hydrauliques ordinaires ont aussi ırs singularités, ils peuvent devenir de bons ciments donner des produits à peu près sans énergie par l'effet divers degrés de cuisson.

On conçoit dans quelle confusion d'idées ces transforıtions contradictoires peuvent jeter le praticien qui erche à se rendre compte de la valeur hydraulique s matières qu'il doit employer, et c'est ce qui a engagé Vicat, qui depuis longtemps a pressenti qu'il devienait indispensable pour la technique de débrouiller ce dale, à entreprendre le travail dont il est question.

Ce savant ingénieur a d'abord cherché à établir une ıssification des chaux hydrauliques et des ciments, aux et ciments-limites. Le tableau suivant est le rémé des études nouvelles qu'il a été obligé de faire ıur parvenir à fixer très-approximativement les points passage importants à connaître.

DÉSIGNATION des PRINCIPES CONSTITUANTS.	TYPE des chaux moyennement hydrauliques.	TYPE des chaux hydrauliques ordinaires.	TYPE des chaux éminemment hydrauliques.	TYPE des chaux-limites.	TYPE des ciments-limites inférieurs.	TYPE des ciments ordinaires.	TYPE des ciments-limites supérieurs.	TYPE du commencement des pouzzolanes.
A l'état naturel.								
Carbonate de chaux. . .	89	83	80	77	73	64	39	16.40
Argile.	11	17	20	23	27	36	61	73.60
Après cuisson.								
Chaux caustique. . . .	100	100	100	100	100	100	100	100
Argile combinée. . . .	22	36	44	53	65	100	273	900 (non combinée).

Les proportions qui constituent ces types sont des ıoyennes autour desquelles se groupent, dans les limites 'un cadre assez étroit, tous les composés de la même lasse. Cette division ne conviendrait probablement plus ux calcaires magnésiens, ou à ceux dont l'argile, par la résence d'une trop grande quantité de fer, soit par 'autres causes, s'écarterait trop du cas des argiles ordiaires.

M. Vicat annonce qu'il n'a rien à ajouter à ce que l'on ait généralement aujourd'hui touchant l'extinction, la onservation et l'emploi des chaux hydrauliques des caégories connues; mais lorsque, par l'effet des proporions élevées de l'argile, les chaux arrivent près du terme ù commencent les ciments, leur emploi présente des nconvénients graves sur lesquels personne n'a rien dit ncore. Prises même au sortir du four, ces espèces de haux s'éteignent très-difficilement par les moyens ordinaires; on ne les réduit qu'avec peine en ajoutant artificiellement de la chaleur, soit par l'eau bouillante, soit autrement, à la chaleur telle quelle qui leur est propre, et les tentatives deviennent d'autant moins efficaces que les chaux-limites ont subi plus longtemps l'influence atmosphérique. Ne pouvant donc les éteindre assez complétement, le seul moyen qui semble se présenter pour en tirer parti est de les traiter comme des ciments. Si donc on les pulvérise et qu'on les gâche à la manière du plâtre, elles prennent corps instantanément en s'échauffant un peu. Cette solidification persiste, soit à l'air, pendant plusieurs heures, pendant une journée même; mais bientôt après, les fissures, la pulvérulence ou le foisonnement en bouillie molle, selon le cas, succèdent au travail intime qui a couvé pour ainsi dire pendant l'intervalle de repos.

Il faut alors, si l'on veut tirer parti de la matière, la ramener par une manipulation nouvelle à l'état de pâte ou de bouillie homogène. Or, c'est en ceci que consiste l'anomalie. La pâte ou bouillie ainsi remaniée descend,

pour l'énergie, relativement au temps de la prise et tout ce qui tient aux débuts de la solidification, au ran des chaux hydrauliques les plus faibles ; par cette raiso donc, et aussi à cause du danger qui résulte d'une ex tinction imparfaite et du travail qui s'opère après cou dans les mortiers, les chaux-limites complètement cuite ne peuvent rendre aucun bon service.

M. Vicat s'est occupé aussi de l'imitation des chau hydrauliques naturelles ou artificielles, en essayant de mélanges de ciment et de chaux grasses, et démontr qu'il est impossible, en pratique, d'opérer exactement d semblables mélanges et de les employer dans l'espace d quelques minutes, et qu'il l'est également de pouvoi profiter de l'énergie des ciments auxiliaires, et consé quemment de composer des chaux hydrauliques artifi cielles, par le procédé indiqué, dont la prise puisse avoi lieu en moins de quinze à vingt jours.

Les incuits ou calcaires argilifères dont on n'a pas ex pulsé tout l'acide carbonique par la cuisson, ont donn lieu aussi à des considérations et à des expériences fo étendues, dont nous ne pouvons ici reproduire tous le détails, mais qui conduisent, ainsi que les faits précé dents, à des conclusions importantes que M. Vicat a for mulées de la manière suivante :

1° On rencontre sur la limite qui sépare les chaux hy drauliques des ciments, des espèces de chaux tenan moyennement 53 pour 100 d'argile, et qui, rebelles au procédés ordinaires d'extinction, paraissent vouloir êtr traitées comme les ciments, et débutent en effet de l même manière. Mais elles lâchent prise après quelqu temps en obéissant à une extinction lente, dont l'effet es d'anéantir en grande partie les propriétés hydraulique de ses combinaisons.

Les chaux-limites sont d'un emploi dangereux et doiven être proscrites sur tous les ateliers.

2° L'exacte imitation des chaux hydrauliques et émi nemment hydrauliques, par des mélanges de chaux gras

es éteintes et de ciments, est impossible, car ces mélanes descendent au rang des chaux faiblement hydrauliues, si l'on donne à leur manipulation plus de temps ue n'en exigent les ciments eux-mêmes pour faire prise, ; les ciments faisant prise en quelques minutes, il est npossible, en pratique, de ne pas dépasser de beaucoup e temps.

Donc, pour imiter les chaux hydrauliques naturelles, on oit s'en tenir au procédé connu, lequel est à la fois le plus imple et le plus direct.

3° Toute substance argilo-calcaire capable de donner n ciment par une cuisson complète, donne encore un iment par une cuisson incomplète, pourvu que le rapport de l'argile à la portion de chaux supposée libre dans incuit, ne soit pas au-dessus de 273 pour 100, ou, en 'autres termes, pourvu qu'il y ait moins de 273 parties 'argile pour 100 de chaux libre.

Or, cette condition laisse une grande latitude pour la uisson des ciments, il est évident que la surcalcination est eule à craindre, et faut-il encore qu'il y ait scorification ommencée pour que toute énergie soit détruite.

4° Toute substance argilo-calcaire capable de donner ne chaux-limite ou une chaux hydraulique par une uisson complète, peut, par l'effet d'une cuisson incomlète, donner un *ciment* ou du moins un produit qui en toutes les propriétés, pourvu que le rapport de l'argile la proportion de chaux supposée libre dans l'incuit ne oit pas au-dessus de 64 pour 100, ou tout au moins de 2 pour 100; non-seulement les incuits ne sont plus ciients, mais ils peuvent même descendre au rang des haux les moins énergiques, avec le grave inconvénient e l'extinction lente.

Or, comme on ne possède aucun moyen pratique de iscerner de prime-abord les incuits-ciments de ceux qui e le sont pas, et encore moins de régler la cuisson de ianière à expulser uniformément des fragments calcaires ros et petits la quantité d'acide carbonique voulue, il en

résulte *qu'en pulvérisant les incuits pour les incorpor indistinctement dans le mortier, comme on a cru devoir faire sur quelques travaux, on peut, au lieu d'améliorer mortier, y introduire un véritable agent de destruction.*

5º Toute fabrication de ciments avec des calcaires chaux-limites incomplètement cuites offrirait de grav inconvénients, car les parties qui, nonobstant toute pr caution, atteindraient le terme de la cuisson complèt ne pouvant être reconnues et rebutées par un triage, re teraient comme agents de destruction dans le ciment.

6º Tout essai direct tendant à constater la qualité d'u chaux hydraulique, doit être précédé d'une expérien qui puisse elle-même constater la quantité d'acide carb nique contenu dans cette chaux; car si cet acide s'y trou en proportion assez notable pour constituer un cime *non-ciment*, l'essai indiquera comme mauvaise une cha hydraulique qui, bien cuite, offrirait peut-être tou l'énergie désirable.

Il est impossible de ne pas attribuer à la présence d chaux-limites, ou des mauvais incuits dans les mortie la dégradation des rejointoiements, la chute et l'efflor cence des enduits, les poussées et tous les autres ac dents qu'on ne remarque jamais quand on emploie chaux hydrauliques bien franches, bien éteintes et bi purgées d'incuits et de tout ce qui y ressemble; n considérerons l'introduction fortuite ou calculée des n mes matières dans les ciments comme l'unique cause l'exfoliation et de la pulvérulence à laquelle ils sont qu quefois sujets (1). Toutes nos assertions, ajoute M. Vi sont faciles à vérifier; nous ne demandons pas qu'on adopte sans examen, nous désirons seulement que, d le doute, on veuille s'abstenir, et en attendant la vé se fera jour.

(1) L'invention de la roue à manége pour la confection des n tiers favorise l'introduction des incuits, parce qu'ils sont écrasé disséminés ainsi dans la masse de l'alliage. L'emploi du rabot n prête point à ce mélange. Il n'est pas de bien sans compensation.

Les anciens, dont l'expérience doit être comptée pour uelque chose, ne se bornaient pas à rejeter les *incuits* u *pigeons*, ils voulaient encore que la chaux destinée ux revêtements eût plus d'une année d'extinction ; ils vaient donc remarqué, même dans les chaux grasses, es parcelles paresseuses dont le foisonnement s'opère ılus lentement.

Nous dirons en passant que les ciments provenant l'incuits s'éventent et se détériorent absolument dans les nêmes circonstances que les ciments ordinaires. L'hisoire de ces derniers est, du reste, en tout point appli:able aux premiers, en ce qui touche la conservation, le node d'emploi, etc.

L'appréciation des qualités de la chaux hydraulique ›u du ciment que peut fournir une substance calcaire lonnée, peut se faire par l'analyse chimique avec plus de :élérité et plus exactement peut-être que par les moyens lirects; mais pour cela on devra abandonner la méthode ordinaire, qui consiste à séparer l'argile du carbonate par un acide et à l'attaquer par la potasse; car on réduit alors en silice gélatineuse des parties quarzeuses qui ne sont pas susceptibles d'entrer en combinaison. Il faudra convertir immédiatement en chaux ou ciment quelques grammes de la matière préalablement réduite en poudre très-fine, s'assurer qu'il ne reste plus d'acide carbonique, et dissoudre le tout dans un excès d'acide hydrochlorique. Le résidu non attaqué, s'il y en a un, donnera la quantité de silice ou d'argile non combinée, et ne pouvant conséquemment concourir que faiblement à l'hydraulicité de la chaux ou du ciment. Le reste de l'analyse s'effectuera comme à l'ordinaire.

Le mode de calcination d'un calcaire influe sur la nature du produit obtenu. Ainsi, en surchauffant, non-seulement on expulse l'acide carbonique, mais on détermine une combinaison entre les éléments en présence, il se forme un silicate de chaux et un double silicate de chaux et d'alumine. Si l'on élève un peu moins la tempé-

rature, on obtient un silicate de chaux et un aluminat de chaux simplement.

A chacune de ces méthodes correspond un ciment d nature différente. La première donne les ciments à pris lente comme les Portland, la seconde les ciments à pris demi-lente, comme les Vassy, Valentine, etc.

Plus la proportion de silicate de chaux est considéra ble, plus le ciment obtenu sera en particulier résistant la mer.

Ainsi étant donné pour composition d'un ciment, l Portland Boulogne :

Chaux.	651
Silice.	205
Alumine.	138
Magnésie.	5.8

on peut établir le calcul suivant :

Le silicate double d'alumine et de chaux contenant :

Alumine.	158

Contiendra :

Chaux.	75
Silice.	40.24

Il reste 163,76 de silice qui s'uniront à 304 de chau pour former le silicate de chaux. Il restera donc 273 d chaux libre.

En opérant ainsi, on peut, dans divers ciments, établi le tableau suivant :

DÉSIGNATION.	Double silicate chaux et alumine.	Silicate de chaux.	Aluminate de chaux.	Chaux libre.	Silice libre.	Silicate de magnésie.	Plâtre.	
Portland anglais.	238	506	»	295	»	»	»	À prise lente obtenus par surcuisson. — Résiste à la mer.
— Boulogne.	253	467	»	273	»	»	»	
Boulogne ordinaire.	169	606	»	58	»	»	»	
Vitry-Brulé.	201	540	»	198	»	»	»	
Saint-Mâlo.	123	680	»	»	»	»	»	
Moissac.	367	528	»	»	40	332	21	Ne résiste pas à la mer.
Porte-de-France.	360	493	»	129	»	»	33	
Antony.	146	791	»	»	18	»	40	
Fagnières.	273	450	»	»	263	»	12	
Vassy.	»	545	349	6	»	37	»	Aucun ne résiste à la mer.
Porte-de-France.	»	415	470	0	65	»	33	
Grenoble.	»	415	470	9	65	»	33	
Champ-Rond.	»	430	450	»	114	»	»	
Corbigny.	»	488	370	»	75	»	44	
Vitry.	»	634	291	26	»	»	»	Obtenus par cuisson ordinaire.
Gap.	»	513	314	»	168	9	30	
La Valentine.	»	545	349	6	»	37	»	

157. Lors de la construction du port du Havre, il a ét fait une série intéressante d'expériences sur les qualité des ciments et les résultats de leur emploi.

Ces ciments provenaient de la maison Johnson et C de Londres ; ils étaient fournis en vertu d'une adjudica tion du 28 août 1865.

Pendant toute la durée des travaux, ces expérience furent continuées, d'une part, par une analyse chimiqu du ciment livré, de l'autre, par des essais sur la résis tance de briquettes gâchées en ciment à l'eau de me dans des moules en bois ayant la forme d'un double T Ces briquettes étaient immergées pendant un certai temps, puis essayées à l'aide d'un appareil composé d deux mâchoires venant embrasser la briquette dans l vide entre les deux bandes horizontales du double T.

L'une de ces mâchoires, celle inférieure, est montée su un banc vertical fixe, l'autre à une tige fixée à un levie comme une balance romaine; l'appareil est taré a moyen d'un dynamomètre qui permet de convertir le charges en unité de traction.

Voici quelles ont été les conséquences de ces expé riences :

On a pu classer ces résultats en deux classes suivan que la résistance à la rupture au bout de 30 jours, était

Comprise entre 20 et 25 kil. (1)
ou entre 15 et 20 kil. (2).

La seconde classe correspond à une prise moins rapid pendant les deux premiers jours, mais au bout de cin jours, la prise est sensiblement la même.

Les densités sont peu variables, et l'on peut admettr comme moyenne 1350 kilog. au mètre cube. La classe l plus résistante correspond au ciment le plus riche e silice et alumine.

La chaux combinée est à peu près la même dans le deux cas, et la quantité totale de chaux supérieure dan les échantillons moins résistants.

La magnésie est en proportion à peu près constante 0 0/0.

La conclusion définitive est que les ciments de Portland nt des chaux hydrauliques surcuites renfermant :

Silice et alumine..	35 0/0
Chaux..	60 0/0
Matières diverses.	5 0/0

Nous donnons le tableau contenant les moyennes de expériences dans chaque classe.

		(1)		(2)	
rupture d'une briquette de 16 cent. c.	après 48 heur. d'immersion.	133k·99		99k·20	
	soit par cent. c.		8k·30		6k·20
	après 5 jours. . .	222.08		186.38	
	soit par cent. c.		13.80		11.60
	après 30 jours. . .	351.22		298.98	
	soit par cent. c.		21.90		18.60
Densité.		1.348		1.348	
Analyse chimique.					
Silice.		22.69		21.97	
Alumine, oxyde de fer. .		13.25		13.01	
Chaux combinée.		53.52		53.43	
Chaux libre.		7.25		6.58	
Plâtre cuit..		1.10		1.22	
Acide sulfurique.		0.48		0.52	
Magnésie.		0.57		0.59	
Eau et acide carbonique.		2.88		3.10	

Fabrication des ciments.

157. La fabrication des ciments a pris une grande extension en France, tant des ciments naturels que des ci-

ments artificiels. Et à cela on peut donner plusieurs r sons.

Le développement qu'a pris l'emploi du ciment da une quantité considérable de travaux, soit en mort de ciment seul, soit uni à des mortiers de chaux po donner une plus grande hydraulicité; enfin l'applicat de cette propriété, qu'uni à une chaux grasse, il la re hydraulique, ce qui permet d'utiliser sur place une cha qui, au premier abord, devait être complétement rejet D'autre part, le ciment est d'une conservation plus fac et plus assurée que les chaux hydrauliques. Si, comme r tière première, il est plus cher, au point de vue des fr de transport, il présente des économies ; et bien des p priétaires de chaux hydrauliques, pour faciliter leur bit, et pouvoir plus commodément expédier leurs pr duits, ont cherché à les transformer, en partie du moi en ciments artificiels.

Toutes ces raisons expliquent l'extension que cette fab cation, qui était restée longtemps le monopole de l'A gleterre, a prise en France où les matériaux ne n manquaient pas.

Bien que cette opération soit assez simple, elle mande des soins attentifs dans quelques-unes de ses p ties. Nous allons décrire d'un façon générale en q consiste une fabrique de ciments, ne pouvant pas ent dans des détails circonstanciés d'installation qui va incontestablement avec les circonstances locales dans quelles on se trouve placé.

La description successive des opérations nécessaire ce travail, sera d'ailleurs suffisante pour compren leurs liaisons, par suite les nécessités de groupem des diverses chambres où s'exécute chaque opération parée, la disposition des transmissions et des moy de transport qui se feront généralement à l'aide de p tits wagonnets roulant sur rails, avec un ou deux mon charges pour passer facilement aux divers étages où fait le travail. MM. Armengaud ont d'ailleurs publié d

ur Portefeuille des Machines, tome 23, la description taillée d'une semblable usine que l'on pourra consulter point de vue de l'agencement; ce qui d'ailleurs, à oins d'être placé dans des circonstances locales idenques, ne pourra servir que de renseignement.

La fabrication du ciment est opérée ou sur des mares donnant naturellement le produit par simple calation, ou sur un mélange de matières différentes, qui mandent préalablement à la cuisson un mélange ine dans des proportions bien définies.

Nous allons d'abord examiner le second cas, car une s ce mélange obtenu, nous nous retrouvons dans les nditions du premier et pourrons les confondre.

Le dosage des matières amenées à l'usine se fait au vone au moyen de brouettes jaugées, ce qui évidemment peut donner que des résultats sujets à quelques errs; aussi cette opération doit-elle être accompagnée ne série constante d'essais et d'analyses, permettant s'assurer de la composition du produit et de corriger écarts qui peuvent se produire.

Ces matières sont jetées dans le malaxeur, appareil où xécute la trituration et le mélange. Il se compose . 41) d'une cuve en maçonnerie dure; quelquefois le d est formé d'une plaque de fonte. Au centre s'élève fourreau pour le passage d'un arbre vertical qui rese à son extrémité inférieure sur une crapaudine fixée un massif au centre de l'appareil. Il porte une roue itée par laquelle il est mis en marche au moyen d'un pareil de transmission situé sous la cuve.

L'extrémité supérieure de l'arbre porte un croisillon à tre bras, auquel sont fixées des lames de fer aciéré , dans leur mouvement de rotation, déterminent le yage et le mélange des matières. Souvent ce système remplacé par un autre qui lui est même préférable. bras des croisillons sont munis d'anneaux auxquels suspend à l'aide de chaînes des herses en fer formées n secteur armé d'alluchons en fer. La herse entraînée

dans le mouvement de rotation, détermine la triturati
de la matière, et se prête par sa disposition à toutes l
secousses sans en avoir à craindre les effets.

Une pompe commandée par la transmission du malaxeu
fournit d'eau à volonté la cuve du malaxeur.

Celle-ci communique, à l'aide d'une trappe, avec
couloir d'écoulement dans lequel sont entraînées les bou
argileuses formant le mélange intime des matières.

On a apporté au système de la trappe un perfectic
nement sensible. Voici en quoi il consiste : La paroi
la cuve est arrasée sur une largeur de 0m.50 à 0m.60
niveau des hautes eaux lorsque la cuve est pleine, et
face de cette partie arrasée vient aboutir le couloir d
coulement. Seulement la partie arrasée est prolongée
une toile métallique formant un châssis de la larg
de l'arrasement sur 1m. environ de long.

Lorsque l'appareil est mis en marche, et qu'il est
rivé à son plein, le mouvement communiqué à la ma
fait remonter la boue au-dessus du niveau de la pa
arrasée; les couches supérieures de cette boue sont é
demment formées par les parties les plus fines, donc
mieux travaillées et par suite les mieux mélangé
mais avant de tomber dans le couloir d'écoulement, el
doivent traverser le châssis métallique qui retient enc
toutes les particules solides un peu grosses qui aurai
pu être entraînées. Le conducteur du travail doit de ter
à autre puiser un peu de matière à la sortie du malax
que l'on porte au laboratoire et qu'on examine pour s
surer que l'on marche dans les conditions voulues.

Une pareille machine demande 6 à 10 chevaux de fo
elle marche à raison de 12 tours par minute; elle p
malaxer 30 à 40 tonnes de matière par jour, et elle
demande qu'une équipe de quatre hommes.

Le couloir d'écoulement conduit les boues dans
bassins en maçonnerie bien cimentés. Ces bassins on
0m.90 à 1 mètre de profondeur, sur 30 mètres de l
et 20 de largeur. Ils sont pourvus d'une vanne, pern

t de faire écouler l'eau qui vient recouvrir le dépôt, ır remplir le bassin jusqu'à remplissage complet de tières solides. Il faut que le nombre de bassins établi responde comme capacité au débit du malaxeur pour à 60 jours de travail.

ìouvent on complète la dessiccation de la matière dans ; étuves. Ce système est avantageux, en ce qu'il ne ıne lieu à aucune dépense, car on pourra toujours ıuffer ces étuves à l'aide de la chaleur perdue des ırs. Voici comment elles sont disposées :

ìur un fond en maçonnerie revêtu de ciment, sont posées des briques laissant entre elles une circulation ır les gaz venant du four. Ces briques supportent une ıque de fonte formant le fond de l'étuve; c'est sur te plaque que l'on vient disposer en couche de petite aisseur les boues déjà très-consistantes qu'on relève ns les bassins. Ce système a encore l'avantage, au cas manque de place, de permettre de diminuer le nombre des bassins.

Nous voici donc en présence d'une matière plus ou oins dure, qui devient de tous points analogue à la erre à ciment naturelle, les opérations sont maintenant entiques.

On les casse en fragments de la grosseur du poing, et les cuit. Cette opération est très-délicate, car la cuisn du ciment ne consiste pas seulement, comme pour la aux, dans l'expulsion de l'acide carbonique, il faut ousser la cuisson encore plus loin, afin de déterminer ı commencement de combinaison entre les éléments qui itrent dans sa combinaison, ce qui correspond à un etit commencement de vitrification à la surface des orceaux. Aussi cette opération demande-t-elle, pour re bien conduite, des ouvriers expérimentés. La cuisson fait dans des fours intermittents formés d'une série e troncs de cônes. La construction doit être solidement ite, le massif extérieur fortement contreventé, et la chemise intérieure en briques réfractaires.

On dispose sur la grille qui forme le fond à la part inférieure, et qui est formée de barreaux de fer de 0m.0 une certaine quantité de gros fagots sur lesquels sont a rangés de gros morceaux de coke, puis on dispose alte nativement par couches le coke et le ciment amenés fragments de la grosseur du poing. Le chargement se fa soit par le gueulard, soit par une ouverture interm diaire munie d'une porte. Lorsque la cuisson est te minée, on laisse refroidir le four, et on défourne en e levant la grille inférieure.

On fait ainsi des fours de capacité variable pouva fournir par cuisson de 7 à 60 tonnes de ciment, ordina rement ils correspondent à 25 à 30 tonnes. L'acide su furique et les sulfures étant un des éléments nuisibles la qualité du ciment, il faut employer des combustibl qui soient exempts de soufre; aussi ne brûle-t-on pre qu'exclusivement que du coke.

La consommation est d'environ 200 à 250 kilog. po 1000 kilog. de ciment cuit.

Ces fours peuvent être un peu modifiés. Ainsi da l'usine décrite par MM. Armengaud, le four se compo d'une cavité cylindrique dont le toit est une voûte sph rique à très-grande courbure, surmontée d'une coupo formant gueulard (fig. 42).

Cette coupole est munie d'une porte par laquelle entre les wagonnets, que l'on décharge par cinq ouvertur percées dans la voûte sphérique et fermées par des grille

Une porte semblable à la base du four sert au décha gement.

Lorsque la cuisson est opérée, il faut amener en poudr très-menue, les morceaux de ciment très-durs qu'on retirés du four. On commence d'abord par faire un triag de ces morceaux, en rejetant tous ceux dont la cuisso ne semble pas bonne, afin d'avoir un produit final aus homogène que possible. Ces morceaux sont repassés une nouvelle cuisson et chargés au sommet du four.

On procède alors au concassage. Cette opération se fai

l'aide des appareils connus, concasseur Carr, concasur américain, moulin à noix, cylindres broyeurs. Ce rnier appareil est celui que l'on peut choisir de prérence, en adoptant pour les cylindres un fort arbre rré sur lequel sont enfilées des rondelles en fer aciéré. ı système, formé de trois cylindres semblables accoués, donne d'excellents résultats et est d'un entretien cile, en cas d'accident survenu à une des rondelles.

Un appareil formé de meules verticales pesantes en anit ou fer, est encore très-bon à employer.

Les matières ainsi broyées passent au crible qui en trait les morceaux qui auraient échappé aux actions écédentes.

Enfin, pour transformer le ciment en cette poudre esque impalpable, sous laquelle il est livré au comerce, on emploie des moulins à meules horizontales mme les moulins à farine.

Les meules ont 1 mètre à $1^{m}.20$ de diamètre, tournent ıne vitesse de 100 à 120 tours par minute. Chaque paire meules emploie 6 à 8 chevaux, et fournit 12 à 15 ınes en 12 heures.

La farine qui sort du moulin passe à travers un blur, d'où elle est directement versée dans les tonneaux ur l'expédition.

Telle est la méthode générale de fabrication du ciment France et en Angleterre. M. Lippowitz, dans son ouage, nous dit qu'en Allemagne ce procédé a reçu queles modifications. On commence par dessécher les mares qui servent à le produire, on les concasse, on les oie au moulin à meules verticales et enfin on les réit en poudre au moulin à farine.

C'est dans cet état qu'on en fait le mélange dont le doge est parfaitement exact. On les mouille légèrement ec une liqueur alcaline, on les verse dans un tonneau nortier, et on forme des briquettes qu'après une légère ssiccation on passe au four.

Le grand avantage de ce système est de permettre un

dosage exact des matières constituantes. Cela est incoı testable, bien qu'il y ait déjà une première objection faire ; c'est qu'il serait difficile d'amener certaines marn à une dessiccation complète donnant, lorsqu'elle e broyée, un produit parfaitement homogène. D'autre pa ce système est incontestablement beaucoup plus coı teux, toutes ces opérations absorbent une grande for mécanique, de telle sorte qu'il est difficile de conclu s'il est réellement plus avantageux que celui que no avons décrit.

Nous avons dit que la cuisson du ciment était une op ration difficile et très-coûteuse, par suite de la gran quantité de chaleur perdue. Il paraîtrait qu'en Allem gne, on a aussi tenté de remédier à cet inconvénient employant pour cette cuisson une modification du fo Hoffmann. C'est peut-être là un premier pas qui co duira à la solution de cette question. Il est certain qu'a cun essai n'a été tenté en France, d'opérer la cuiss avec un four du genre Siemens, bien qu'il y ait là ı grand intérêt, et que la solution de cette question am nerait une amélioration considérable dans la qualité le prix de revient des ciments.

Les ciments blutés, enfermés dans des tonneaux et pl cés dans des magasins bien secs à l'abri de l'humidit peuvent se conserver fort longtemps, au moins une anné sans rien perdre de leurs qualités.

Il faut avoir le soin sur les chantiers de soigner l barils avec les mêmes précautions : Bien les mettre l'abri de l'humidité, ne les ouvrir qu'au moment de l employer ; et lorsqu'un baril n'est pas utilisé en entie il faut recouvrir le restant de sable bien sec, ou mieı de chaux pulvérisée, en interposant un lit de papier ent les matières.

Au moment de l'emploi, l'inspection de la couleur, toucher de la poudre, la friabilité des petits grumelo qu'on y rencontre sont les indices qui font juger s'il n pas perdu ses qualités.

Tout ciment avarié ne doit pas être employé à l'état de ciment proprement dit, mais il est encore très-bon pour mêler à une chaux grasse et la rendre hydraulique.

M. Judycki, qui conduisait la fabrication de la chaux hydraulique à Saint-Michel (Savoie) pour le tunnel du Mont-Cenis, a fait une série d'observations d'où il a déduit un nouveau procédé de fabrication de ciment.

Un calcaire, lorsqu'il est arrosé après sa cuisson, foisonne d'autant moins et d'autant plus lentement qu'il contient plus d'argile.

Ce mode est très-facile à constater depuis la chaux grasse, qui tombe immédiatement en poussière, jusqu'aux chaux riches à 28 0/0 d'argile qui ne foisonnent plus et deviennent des ciments.

La non homogénéité des marnes calcaires rend la fabrication du ciment difficile, et fait presque toujours préférer les ciments artificiels aux naturels.

C'est en se basant sur ces observations, que M. Judycki a conclu au procédé suivant de fabrication du ciment avec un calcaire marneux quelconque.

On emploie indifféremment les divers bancs de la carrière, on cuit dans des fours à chaux ordinaires ; on trie les incuits et les surcuits, on asperge d'eau et on fait foisonner pendant huit à dix jours. En tamisant à la grille, on sépare la chaux et les parties cimenteuses qui restent sur le tamis.

Il n'y a donc qu'à faire passer ces parties cimenteuses à une seconde cuisson pour en chasser l'eau d'hydratation. Cette seconde cuisson est vétilleuse : il faut garnir la grille de matériaux réfractaires quelconques pour éviter que la charge en parties trop ténues ne parvienne à étouffer le feu ; on charge contre les parois, avec des parties un peu plus grosses que la masse amincie, trois cheminées cylindriques de $0^{m}.25$ de section qu'on remplit de poussier de charbon de bois, et que l'on fait communiquer par des traînées horizontales de poussier disposées dans la masse, tous les $0^{m}.50$ de hauteur.

L'avantage que M. Judycki attribue à ce procédé, ce serait, comme on le voit, de pouvoir mener concurremment la fabrication d'un ciment et de la chaux hydraulique.

Voici les résultats qu'il a obtenus :

Avec un calcaire contenant de 10 à 16 0/0 d'argile, on avait 10 à 25 0/0 de ciment.

Avec un autre contenant 16 à 22 0/0 d'argile, on avait 25 à 50 0/0 de ciment.

Avec une anthracite contenant 30 0/0 de cendres, on consommait 200 kilogrammes par tonne de chaux à la première cuisson, et 100 kilogrammes par tonne de ciment à la seconde.

CHAPITRE IX.

Action de l'eau de mer sur les mortiers.

Examen chimique d'une pouzzolane artificielle qui était restée pendant quelques jours dans l'eau de mer, par M. Vicat.

158. Des expériences faites à Toulon sur une pouzzolane artificielle ont donné lieu, il y a quelque temps, à des observations singulières et inquiétantes. On remarqua qu'après quelques jours d'immersion dans l'eau de mer, les briqnes fabriquées avec cette pouzzolane tombaient en miettes, en se brisant graduellement des surfaces au centre. M. Noël, ingénieur en chef du port de Toulon, me transmit, dit M. Vicat, le noyau non encore attaqué de ces briques, et une certaine quantité des parties brisées, en me priant de chercher l'explication du phénomène. L'examen chimique de ces matières m'a donné les résultats ci-après :

	Composition des parties brisées sur 190 parties.	Composition du noyau sur 100 parties.
ésidu argileux insoluble dans l'acide chlorhydrique.	21.666	23.333
ilice dissoute.	4.000	4.000
lumine et fer dissous. .	15.333	9.333
haux.	19.333	31.333
lagnésie.	10.400	1.866
au et acide carbonique.	29.261	30.135
	100.000	100.000

Il résulte de cette comparaison qu'une partie de la haux a disparu dans les parties brisées, et se trouve emplacée par de la magnésie; il m'a été démontré par à que les sels magnésiens de l'eau de la mer ont été décomposés par la chaux du béton, et que la désaggrégaion observée n'est que l'effet de cette décomposition.

J'ai placé les noyaux restés intacts dans de l'eau douce, t ils s'y sont très-bien maintenus. Je les ai mis dans eau de mer, et l'exfoliation a reparu immédiatement.

Je possède actuellement assez de données sur ces phéomènes pour pouvoir annoncer que l'action de l'eau de ner sur la chaux des bétons immergés frais est un fait général, mais modifié par son intensité par la nature les chaux et des pouzzolanes employées, et aussi par 'état physique des pâtes immergées.

Action de l'eau de mer sur les bétons, par M. Vicat.

Quelque temps après la publication de la note précédente, M. Vicat, ayant eu le temps d'étudier avec soin et persévérance les conséquences de l'action chimique de l'eau de mer sur les composés de chaux et de pouzzolanes connus en technique sous le nom de *béton*, jugea que ces conséquences étaient assez graves, dans certains cas, pour appeler l'attention des ingénieurs, et publia,

dans le *Technologiste*, l'article suivant : « Jusqu'alors dit-il, personne n'avait mis en doute que les pouzzolanes qui conviennent à l'eau douce ne dussent aussi convenir à l'eau salée; et, partant de là, un honorable inspecteur général, dont le corps des Ponts et Chaussées déplore la perte récente, M. Raffeneau, de Lille, avait proposé de grandes économies sur les travaux du port d'Alger, en substituant à la pouzzolane d'Italie une pouzzolane artificielle, produite par une cuisson modérée d'une argile marneuse employée en Afrique comme terre à briques. Or, il résulte des expériences faites contradictoiremen à Toulon et à Grenoble, que si l'on eût donné suite à cette proposition très-naturelle, très-rationnelle, selon les idées reçues, la digue d'Alger, si importante par l'objet qu'elle doit remplir, aurait pu disparaître en pe d'années sans laisser de traces.

« C'est donc par un à-propos des plus heureux que vers 1842, j'ai été mis sur la voie de ces réactions salines, qui transforment en sulfates et hydrochlorates de chaux toute la chaux encore libre ou faiblement combinée dans certaines classes de bétons. Le danger est maintenant connu ; il s'agira d'y parer, je l'espère, san renoncer à l'économie que promettent les pouzzolane artificielles. Il faudra seulement, selon la nature de l'argile, se conformer à certaines exigences de cuisson d'emploi dont l'énoncé ne peut trouver place ici.

« Lorsque j'ai eu connaissance de ces phénomènes chimiques, je me suis empressé d'en informer quelques ingénieurs attachés aux travaux de nos ports, et j'ai été extrêmement surpris d'apprendre, en réponse, que su la Manche, par exemple, et notamment à Cherbourg, o l'on fait une assez grande consommation de pouzzolane artificielles, jamais rien de pareil n'a été remarqué n soupçonné. Cela m'a conduit à comparer les eaux d l'Océan à celles de la Méditerranée, en m'éclairant de analyses réputées les plus exactes, et j'ai vu que su 1,000 parties, ces eaux contiennent 7,02 de sulfate d

ıagnésie, pendant que les eaux de l'Océan, prises sur la anche, n'en contiennent que 2,29. La quantité d'hydro-ılorate de magnésie y est aussi beaucoup moindre. Je 'ai donc pu attribuer qu'à cette différence la différente ıanière d'agir des deux eaux, et la synthèse est venue ıe confirmer dans cette opinion, c'est-à-dire que des aux artificielles, composées dans les rapports indiqués ar les analyses, ont agi conformément aux expériences e Cherbourg et de Toulon : de là, on tire cette consé-uence tout imprévue, que de deux digues composées es mêmes bétons et jetées simultanément, l'une sur les ôtes de l'Océan, l'autre sur celles de la Méditerranée, la remière pourrait subsister indéfiniment, et la dernière isparaître en quelques années.

Les divers mélanges de chaux et de pouzzolanes, de haux hydrauliques et de sables, et sur lesquels j'ai pu tudier l'action de l'eau de mer, ont donné lieu à des ıits remarquables. La lutte qui s'établit entre la ten-ance des dissolutions salines à s'emparer de cette haux, produit des résultats variés : dans certains cas, ı masse attaquée se résout en bouillie; dans d'autres, lle se divise en petits éclats individuellement très-co-ıérents; dans d'autres, elle s'exfolie à la manière des chistes gélisses; très-souvent elle conserve son volume t sa forme, tout en s'imprégnant de magnésie et de sul-ıte de chaux.

A l'aide de légers artifices, on provoque facilement, ans une masse de béton immergée, la formation de eines ou de petits amas de gypse cristallisé et adhérent ux parois; on peut aussi déterminer la formation de etites dolomies, en plaçant, dans une simple dissolution l'hydrochlorate de magnésie, des massettes de chaux en âte provenant d'une chaux incomplètement cuite ou l'une chaux partiellement éteinte à l'air. Les parties car-onatées restent telles quelles; les parties simplement ıydratées passent à l'état d'hydrochlorate soluble, et la nagnésie est introduite et disséminée dans le tissu, où

elle arrive bientôt à l'état carbonaté, pour peu qu'il s'in-troduise d'acide carbonique libre dans le bain d'immer-sion.

Il m'a semblé que ces faits, quoique observés sur un petite échelle, pourraient jeter quelque lumière sur la formation de certaines substances minéralogiques, for-mation difficile à concevoir dans le système plutonien et qui paraît toute simple quand on admet l'infiltratio des dissolutions salines au sein des masses à l'état pâ-teux ou même solides, mais susceptibles d'imbibition, là des échanges et des substitutions analogues à ce qu je viens d'exposer touchant les bétons plongés enco frais dans l'eau de la Méditerranée.

159. La construction de la grande digue de Cherbou a donné lieu à des travaux très-intéressants sur cet question délicate, de l'action de la mer sur les mortier On peut, pour étudier cette question en détail, consult le *Mémorial des travaux hydrauliques*, où une série rapports sur la question, ont été insérés par MM. Be nard et Pasquier-Vauvilliers.

Nous nous bornerons à en extraire les conclusions plus importantes.

Les chaux non hydrauliques ou faiblement hydrau ques ne résistent pas à l'action de l'eau de mer. L'obse vation a porté spécialement sur des blocs de mass faits avec des chaux de Blosville et d'Emondeville (Ma che), après trois ans la décomposition était complète. y ajoutant un mélange de ciment, on obtient une rés tance de plus grande durée, et l'on pourrait à la riguer opérer ainsi pour des travaux provisoires.

Des chaux plus hydrauliques, notamment les chaux Theil, ont donné de meilleurs résultats; ainsi, dans Méditerranée, on a obtenu de bons résultats; à Ch bourg, des blocs ont résisté dix ans. Malgré cela, el sont condamnées, elles aussi, par les autorités comp tentes pour des travaux définitifs.

Les ciments à prise rapide ont donné des résultats

ement différents entre eux, et l'expérience, après en r fait rejeter quelques-uns, sans aucun doute, comme iments de Vassy et de Pouilly, en a en réalité con- deux comme étant les seuls donnant des résultats u'ici certains, ce sont les ciments de Parker (Fran- ndsons, de Londres) et de Médina (même maison). fin les ciments à prise lente et en particulier les land sont ceux qui permettent de faire des mortiers l'on puisse regarder comme inaltérables, tant par des actions chimiques que mécaniques de l'eau de

mploi des ciments de Portland exige une précau- Frais, ces ciments ont une prise très-rapide dont it se méfier, car elle est souvent suivie de fendille- s, dus à la présence d'un excès de chaux vive. Il mieux, ne les employer qu'après un séjour d'envi- in mois dans les magasins.

Pasquier-Vauvilliers, en 1866, à propos de la cons- ion du massif sous-marin du fort Chavagnac, a fait pport où il conclut dans les mêmes termes : « L'ex- nce écarte les mortiers de chaux ordinaire, la chaux heil également comme exigeant un chantier trop dérable et n'étant pas assez connue. La rapidité de ise fait recourir aux ciments Parker et Médina; malgré l'élévation du prix, le rapport conclut à loi du ciment Portland, consacré par 13 ans d'ex- nce, et dont l'emploi, bien que plus coûteux, ne orte cependant qu'une augmentation de 8 fr. environ iètre cube.

xpérience a conduit, pour l'emploi du Portland, roportions suivantes :

kil. de Portland par mètre cube de mortier, ou 1 nent pour 2.5 de sable.

De l'action de l'eau de mer sur les matières hydrauliq
(*Extrait du rapport de MM.* Chatoney *et* Rivot.)

160. L'action de l'eau de mer sur les mortiers en néral, et par suite sur les bétons, avait donné lieu à nombreuses controverses, se terminant par des con sions tellement divergentes, que pendant bien lo temps, cette question est restée complétement obsc De nombreuses expériences avaient cependant été fa mais isolées, incomplètes et n'avaient rien établi de finitif jusqu'au jour où ce travail fut repris en enti nouveau par MM. Chatoney et Rivot, qui ont pu é établir l'action réelle de l'eau de mer sur les morti par suite, comment ceux-ci se conduisaient dans ces constances, eu égard à leur composition, et enfin les ductions pratiques assurant les moyens de faire des vaux à la mer qui présentent toutes les garantie sécurité désirables.

MM. Chatoney et Rivot ont publié dans les *Annale Ponts et Chaussées*, un long mémoire sur cet impo travail, que nous engageons vivement à lire avec a tion, et duquel nous extrayons ce qui va suivre.

Les causes de décomposition des mortiers à l'ea mer, sont nombreuses et peuvent être comprises en catégories distinctes :

Les unes proviennent de la composition des cha de la nature des sables entrant dans la confectio mortier.

Les autres, des actions chimiques exercées su mortiers, par l'eau, les gaz et les sels qui y sont en dissolution.

Là est le grand point de ce travail, démontrant n'y a rien d'absolu dans l'action de l'eau de mer e néral, que tout dépend des natures réciproques du tier et de l'eau de mer où il est immergé. Or, pa tableaux que nous avons donnés de la compositi

eau de mer en différents endroits, on comprend très-ien, à cause des variations de cette composition, que el mortier qui résiste dans la Méditerranée ne puisse enir dans la Manche, et ainsi se sont trouvées expliquées es bizarreries qui avaient été signalées.

Examinons les effets résultant de la nature de chacun es éléments constituants du mortier.

Les chaux hydrauliques, tout d'abord, proviennent de alcaires qui peuvent renfermer de la dolomie, du sul-ate de chaux, des pyrites de fer, du sable quarzeux en rains assez gros.

L'oxyde de fer peut, en général, être considéré comme nerte, sa présence, lorsqu'il est en forte proportion, eut tendre à retarder les effets de la prise.

Le sable en gros grain peut être considéré de la même açon. Quant aux pyrites, dans la cuisson, donnant lieu à u sulfate de chaux, nous n'avons pas à nous en occuper éparément.

La présence de la dolomie dans le calcaire donne lieu la production de silicate et d'aluminate de magné-ie qui se forment pendant la cuisson, concurremment vec les sels de chaux. En général, les mortiers ainsi omposés n'ont pas tenu à la mer, et cela provient de e que les sels de magnésie et de chaux ne s'hydra-ent pas en même temps, les premiers étant plus lents. r, leur hydratation donne lieu à une certaine contrac-ion qui ne se produisant que dans un mortier partielle-nent pris déjà, en détermine la désagrégation.

Le sulfate de chaux, lorsqu'il est en proportion un peu orte, est encore une cause de détérioration; on peut onsidérer comme sans mauvais effet la proportion de 1 2 0/0 de sulfate répandu uniformément.

Les sables qui servent à confectionner les mortiers euvent, s'ils ne renferment que des grains de quartz et e carbonate de chaux, être considérés comme inertes. lais lorsque leur composition est plus complexe, qu'ils enferment de l'argile, du silex, des silicates lentement

attaquables par la chaux, son action est beaucoup pl complexe. Il se produit une série de réactions lent postérieures à la prise, et qui par suite peuvent dever une cause de désagrégation.

Quant à l'eau de mer, nous allons voir que sa comp sition variable donne lieu également à toute une série phénomènes plus ou moins complexes, et nous ne no occuperons que des actions chimiques, auxquelles joindront les efforts mécaniques des vagues et des co rants.

L'eau de mer peut contenir en dissolution des sels soude, de chaux, de magnésie, de l'acide carbonique de l'hydrogène sulfuré, mais cela d'une façon très-v riable suivant les localités.

L'eau d'abord agit comme dissolvant de la chaux h dratée restée libre, puis sur la chaux combinée dans l' luminate. On voit donc là une cause de désagrégatic pour le mortier, qui tend à augmenter les vides natur dus à la porosité jusqu'à ce que l'eau de mer ne se trou plus en présence que de matières insolubles, comme silicate de chaux. D'où cette première conséquence, c' que la stabilité du mortier n'aura lieu qu'autant que proportion du silicate a atteint une certaine mesure, pu cette seconde que les chaux siliceuses doivent donner d mortiers plus résistants que les chaux argileuses.

Il semblerait aussi qu'il faut avoir le moins de cha libre possible, mais cette condition serait incompatib avec une autre indispensable que nous allons examine

Les sels de magnésie ayant une action semblable à ce de l'eau, il y a une légère tendance de substitution et p suite de désagrégation ; mais cette action est très-faib la proportion des sels de magnésie contenus dans l'e de mer étant toujours très-minime.

Les agents qui sont les causes principales des actio de l'eau de mer sont les gaz tenus en dissolution.

Les proportions de ces gaz, acide carbonique et su hydrique, sont très-variables d'une mer à l'autre, et so

›nt même dans la même mer d'une localité à une autre, › qui explique les différences de durée d'un même mor- ›er.

C'est l'acide carbonique qui agit en premier dès l'im- ersion du mortier; il s'empare de la chaux libre pour transformer en carbonate de chaux. Cette action se ›oduit plus spécialement vers la surface où la chaux se ouve rejetée par la contraction du mortier, et il se forme nsi une croûte solide extérieure bouchant les pores du ortier et le protégeant contre les actions destructives › l'eau de mer. On voit donc qu'il est indispensable que mortier contienne une certaine proportion de chaux ›re et que, suivant les rapports entre les proportions chaux libre et d'acide carbonique, on peut assurer la lidification du mortier et ne pas redouter l'action dis- lvante de l'eau. Si, au contraire, on s'écarte de ces nditions, que le mortier contienne trop de chaux libre lativement à l'acide carbonique, l'action dissolvante de au rend le mortier de plus en plus poreux, le carbo- te de chaux n'adhère plus au mortier, la chaux libre tarde pas à disparaître, l'acide carbonique agit alors r les silicates et aluminates, et la désagrégation ne tarde s à se produire complètement.

L'hydrogène sulfuré est une cause de désagrégation, ›sque les blocs de béton se trouvent disposés de façon recevoir alternativement l'action de l'eau et de l'air. Il ıd alors à se former du sulfate de chaux. Dans le cas blocs complètement immergés, cette action est peu ısible.

Les mortiers qu'on emploie à la mer sont non-seule- ›nt faits avec des chaux hydrauliques, mais encore le ıs souvent avec des ciments. Il n'y a pas lieu de dis- guer ces ciments en ciments naturels ou artificiels, les ions étant les mêmes, il faut seulement distinguer ceux i sont à prise rapide ou à prise lente.

Les ciments à prise rapide sont formés de silicate et luminate de chaux dont la composition correspond aux

formules et qui en constituent les 90 0/0, avec un peu sable, d'alumine, d'oxyde de fer, de carbonate non déco posé et très-peu de chaux caustique.

Ces ciments gâchés avec de l'eau prennent en quelq minutes. Cette prise très-rapide est due à l'hydratati presque instantanée du silicate de chaux, ainsi que l'aluminate qui s'hydrate vraisemblablement avec même rapidité. Il faut donc, pour avoir une bonne pri que toutes les parties du ciment aient été égalem mouillées. C'est là la plus grande difficulté dans la p tique, autrement la prise se fait par parties successi et amène des fendillements.

Lorsque les ciments sont bien imperméables, et suite lorsqu'ils ne contiennent pas de sulfate de cha ils sont presque à l'abri des actions désagrégeantes l'eau de mer. Mais dans le cas de porosité, ils ont à s porter l'action de l'acide carbonique, action d'autant p grande qu'il n'y pas ou peu de chaux libre pour s'y poser, de telle sorte que, dans ce cas, ils résistent mê moins bien que les chaux hydrauliques.

Les mortiers à prise lente s'emploient avec du sable forment des mortiers résistants d'une mise en œu commode. Ces ciments proviennent d'une cuisson à te pérature très-élevée de calcaires argileux dans lesq la proportion de l'argile est à celle du carbonate de ch à peu près comme 1 est à 2.

Dans la pratique, on mouille aussi régulièrement possible ce ciment, on en fait le mélange avec le sa mouillé lui-même, et on applique immédiatement le m tier à l'usage auquel il est destiné. Ainsi, dans la fa cation des grands blocs pour les jetées, on fait ces b dans des moules, dont les pièces mobiles sont enle quand le mortier a pris une certaine consistance. Puis blocs sont abandonnés à l'air humide quelques sema avant d'être immergés définitivement.

Il y a lieu pour ces ciments à faire une observa préalable. Pendant la cuisson, la chaleur étant très-fo il se forme une légère vitrification sur les surfaces

ırceaux, de telle sorte que les ciments, quand ils sont luits en poussière, sont formés d'une poudre tamisée des grains plus gros et plus durs contenant les parties glomérées. Souvent on sépare ces deux parties, on oie à nouveau les grains et on en fait un nouveau ci- ent d'une prise encore plus lente que le premier.

Ces deux parties n'ont pas tout à fait la même compo- ion, et la prise des grains est beaucoup plus lente, ce ıi peut être une cause de désagrégation. Aussi est-il ujours prudent de les séparer par un tamisage soigné, ant d'employer le ciment.

Ce ciment se compose d'un peu de chaux libre, de l'oxyde fer et d'alumine libres, du silicate et de l'aluminate chaux, et d'un silicate à plusieurs bases.

L'action de l'eau est peu sensible, la plus grande par- étant formée de silicate inattaquable.

Les sels de magnésie ont eux aussi une action très-fai- e qui ne peut être une cause de désagrégation.

L'acide carbonique a une action plus rapide sur les ments que sur les chaux hydrauliques, à cause de la ifférence de proportion de chaux libre. Il ne peut se ırmer assez de carbonate à la surface pour boucher les ores, et l'acide carbonique agit sur les silicates et alu- ıinates ; il s'en suit une désagrégation inévitable quoi- ue lente.

Pour combattre cette mauvaise condition, on a pro- osé et employé le mélange de chaux grasse ou hydrau- que avec les ciments. Si l'on a affaire à des eaux très- hargées en acide carbonique, ce procédé sera en effet rès-bon à suivre.

Enfin, pour terminer, nous dirons un mot des mortiers ans lesquels on fait entrer des pouzzolanes, soit des oches volcaniques, des argiles peu calcinées, des laitiers, es scories, etc.

Les mortiers se font avec des pouzzolanes, des chaux rasses ou hydrauliques et du sable, l'immersion a lieu énéralement après la prise.

Avec des chaux grasses, on a obtenu de très-bons et

de très-mauvais résultats, ce qui prouve la difficul qu'on éprouve à manier ces matières, et cette difficul est facile à comprendre, la prise est due à la formati par voie humide du silicate et aluminate hydratés, p l'action de la chaux sur le silicate multiple des pouzzo lanes. Cette action est nécessairement très-lente, aus contrairement à ce qui passe dans les mortiers préc dents, il subsiste une certaine mollesse jusqu'au mome où l'action utile de la chaux est achevée.

Il faut donc pour ces mortiers opérer autrement qu pour les précédents, et ne les immerger définitiveme qu'après les avoir conservés assez longtemps à l'air humid

De l'oubli de ces circonstances, résultent les insucc qu'ont présenté ces mortiers.

L'emploi des chaux hydrauliques est encore plus v tilleux. D'après ce que nous venons de dire déjà, l'on com prend qu'à cause de la composition même de la chau les réactions sont infiniment plus complexes, il faut arr ver à une concordance dans les différents mouvemen moléculaires très-difficiles à obtenir. Aussi ne doit-o employer avec les pouzzolanes que des chaux faibleme hydrauliques.

Les causes de désagrégation sont toujours les même et l'on voit que si l'eau peut facilement traverser le mo tier et s'y renouveler, la désagrégation se fera asse rapidement.

De toutes les pouzzolanes artificielles, la silice natu relle est certainement celle qui peut donner le plus sim plement les meilleurs mortiers.

En résumé, les mortiers employés depuis un certai temps aux constructions à la mer, ont donné lieu à un série d'accidents, dont la cause évidente était la connais sance imparfaite des conditions à remplir pour obteni une prise durable.

Après une étude théorique basée sur les analyses d'u grand nombre d'échantillons, MM. Rivot et Chatoney on posé les conclusions suivantes :

L'homogénéité des matières calcaires servant à fabri

ıer les matériaux hydrauliques est une des conditions dispensables de réussite à la mer. Cette condition catale n'est pas toujours suffisamment observée dans les brications, on ne tient pas assez compte des variations ı'offrent naturellement les bancs de calcaires exploités, lorsqu'il y aura une fourniture considérable pour des avaux maritimes, il sera toujours utile de la rappeler d'insister spécialement sur son observation.

Les mortiers sont faits avec :

Des chaux hydrauliques et plus ou moins de sable.

Des ciments dans des conditions analogues.

Des pouzzolanes, avec des chaux grasses ou hydrauliıes et du sable.

Les chaux hydrauliques et les ciments proviennent de cuisson de calcaires avec du sable quarzeux ou de ırgile.

Les chaux hydrauliques siliceuses offrent dans leur mposition :

1° Du silicate de chaux dont la composition peut être présentée par la formule

$$Si\,O^3 + 3Ca\,O + 6.40$$

ıi présente une cohésion lente et qui en se contractant pousse au dehors la chaux libre contenue dans le morɜr.

2° De la chaux caustique en excès assez grand qui mmence par se dissoudre, puis se combine avec l'acide rbonique pour former une croûte à la surface du mor-ɜr, assurant son imperméabilité, qualité dont la recherche doit former le but de toutes les recherches sur ces ıtériaux.

La quantité de chaux libre que contiendra la chaux draulique doit être proportionnée à celle de l'acide rbonique contenue dans l'eau où se fera l'immersion, ın d'arriver par un excès suffisant à former cette coue imperméable, et à éviter un trop grand excès pour pas détruire cette imperméabilité par la solubilité de tte chaux libre.

3° Des matières, sables, fer, carbonate de chaux inerte

Les chaux hydrauliques contenant de l'argile présen-tent une composition plus complexe.

Au silicate de chaux se joint de l'aluminate et un sili-cate double. Il faut que les périodes d'hydratation d silicates et aluminates concordent. Or, elles ne sont na-turellement pas égales, d'où de grandes difficultés po déterminer leurs proportions relatives. Ces chaux so donc d'un emploi assez difficile pour être à peu près re-jetées.

Les ciments se distinguent suivant qu'ils ont été obten

à température modérée,

à température surchauffée.

Les premiers seront exposés à une désagrégation ass rapide, après la prise, toutes les fois que l'eau de m pourra y pénétrer. Cette désagrégation est plus rapi que dans les mortiers de chaux hydraulique. La pr-sence du sulfate de chaux est très-nuisible; soit qu fasse prise et en augmentant de volume fasse éclater mortier, soit qu'il se dissolve, il est une cause de por-sité et par suite de destruction.

Les ciments à prise lente seront d'un bon usage, presque totalité de la chaux étant dissoute ou combin avant l'immersion. Grande utilité de bien séparer par blutage les grains vitrifiés, dont l'action lente devie une cause nuisible.

Les pouzzolanes tendent par une réaction multiple à désagrégation, à moins que par une digestion préalal assez longue, on ait assuré l'action complète de la cha sur la pouzzolane avant l'immersion, condition qui déjà réalisée avec les ciments qui contiennent un peu silicate multiple formant la base de la pouzzolane, p l'habitude qu'ont adoptée les fabricants de ne plus livr les ciments qu'après les avoir conservés un certain tem dans des magasins un peu humides.

M. Vicat a publié en 1856 le tableau suivant, donna la composition de l'eau de mer, prise en différents endroi

PRINCIPES CONTENUS.	Près de Bayonne.	Côtes de la Méditerranée.		Nord Atlantique	Manche.
Chlorhydrate de soude.	25.10	25.10	27.22	26.06	27.06
Sulfate de magnésie.	5.78	6.25	7.02	»	2.59
Chlorhydrate de magnésie.	3.50	5.25	6.14	5.15	3.66
Sulfate de chaux.	0.15	0.15	0.10	0.15	1.41
— de soude.	»	»	»	4.66	»
Carbonate de chaux.	0.20	0.15	0.20	»	0.03
Acide carbonique.	0.23	0.11	traces.	»	traces.
Chlorhydrate de potasse.	»	»	0.01	1.23	0.76

CHAPITRE X.

Plâtre.

161. Après la chaux, vient le plâtre qui, s'il n'est p d'un usage aussi universel, lui est souvent bien supéri en ce qu'il n'a besoin que d'être mélangé avec de l' pour former un corps solide qui se conserve très-bi lorsqu'il n'est pas exposé à l'air ou à l'humidité; et core, quand il est d'une qualité exceptionnelle, com celui de Paris, résiste-t-il assez pour servir à la constr tion des maisons et à la confection des moulures les p délicates et qui, à elles seules, suffisent pour donner façades des bâtiments l'apparence des plus beaux t vaux d'architecture.

Il serait difficile d'énumérer ici tous les services peut rendre le plâtre dans la maçonnerie, le moulage,

Le plâtre n'a pas, dans les constructions, la ténacité mortier de chaux, qui durcit avec le temps. Il rés de plusieurs expériences, notamment de celles de M. R delet, que si l'on réunit deux briques avec du plâtre d'abord, les colle avec un tiers plus de force que n fait le mortier de chaux, le plâtre perd cette forc mesure qu'il vieillit, tandis que celle du mortier va t jours en augmentant jusqu'à ce qu'elle ait atteint maximum de résistance.

162. Le plâtre sert beaucoup à l'agriculture. Cette plication, qui ne date que du siècle dernier, a été in duite en Amérique par Franklin. Elle s'est prop rapidement en Europe. On raconte chaque fois que l casion s'en présente, que l'illustre physicien, vou démontrer à ses compatriotes les bons effets du pl sur les prairies artificielles, écrivit en gros caractè au moyen de poussière de plâtre : *Ceci a été plâtré,* un champ placé près d'une grande route non loi

ashington. Dans tous les endroits qui avaient été re-uverts de la poudre, une magnifique végétation se veloppa, en sorte qu'on pouvait lire distinctement les ractères tracés par la main du philosophe américain. ıe telle démonstration valait mieux que tous les dis-urs. Elle porta ses fruits.

Aujourd'hui, le plâtre est un des engrais minéraux s plus utilisés dans l'agriculture. Il convient surtout x prairies artificielles formées par le trèfle, la luzerne le sainfoin; son action est nulle sur les céréales, peu nsible sur les récoltes sarclées et les prairies natu-lles.

Le plâtre doit se répandre en poudre au printemps et rsque les plantes qui le reçoivent ont acquis un certain veloppement; on l'applique le matin pour qu'il puisse hérer aux feuilles encore mouillées par la rosée.

Le plâtre cru est aussi bon que le plâtre cuit. Ce der-er a cependant l'avantage de se réduire plus facilement poudre. On donne par hectare depuis 200 jusqu'à 00 kilog. de cette matière.

Le plâtre est absorbé par les plantes, surtout par celles nt la croissance est rapide; il est à présumer que le âtre agit utilement sur les prairies artificielles en four-ssant au sol la chaux qui peut lui manquer et en lui stituant celle que la végétation lui enlève.

Le plâtre destiné à l'agriculture peut se cuire à très-s prix en employant des fours coulants à feu con-ıu.

163. Le plâtre est très-abondant dans la nature. On plique le nom de plâtre aussi bien au gypse privé d'eau r la calcination qu'au gypse tel qu'on l'extrait des rrières; de là les expressions de plâtre cuit et plâtre u. On appelle gypse le sulfate de chaux hydraté. Il y aussi dans la nature du sulfate de chaux anhydre, au-ıel les minéralogistes donnent le nom de *karsténite* ou *anhydrite*, mais cette espèce est assez rare et n'a que u d'emploi.

L'anhydrite (CaO, SO^3) est composé de 350 de chaux de 500 d'acide sulfurique.

Le gypse ($CaO, SO^3 + 2HO$) a la même composition q l'anhydrite, plus 225 d'eau.

En cuisant à une température de 120 à 130 degrés, gypse ou plâtre abandonne complétement son eau, et change en sulfate anhydre. Le poids de la pierre à plât diminue d'un quart environ à la cuisson, par suite l'évaporation de l'eau de cristallisation. Alors il a même composition que l'anhydrite.

Dans cet état, le gypse reprend facilement l'eau qu' lui a fait perdre.

Cette propriété ne se manifeste cependant que dans gypse qui n'a pas été trop fortement chauffé. S'il a soumis à une température seulement de 160°, la mati anhydre ne reprend plus son eau que très-lentement.

Le sulfate de chaux anhydre de la nature, l'anhydri ne se combine pas avec l'eau. Il se comporte comme gypse qui a été calciné au rouge.

Le sulfate de chaux fond à la chaleur rouge, et il solidifie, par le refroidissement, en une masse cristall dont les clivages sont les mêmes que ceux de l'anh drite.

C'est donc sur la propriété que possède le gypse perdre son eau de cristallisation à une température élevée, et de la reprendre promptement quand on mélange avec ce liquide, qu'est fondé l'emploi du plâ Voici ce qui se passe quand on mélange du plâtre cui réduit en poudre avec de l'eau, pour former une p liquide : au premier moment, les parcelles de plâtre sont mécaniquement mélangées à l'eau ; mais bientôt plâtre se combine avec l'eau, et se change en sulfate plâtre hydraté, comme il était avant sa cuisson. partie de l'eau mélangée disparaît dans la combinais les particules qui étaient désagrégées dans la pâte quide, s'agrègent en petits cristaux au moment où il combinent avec l'eau. Ces petits cristaux se *feutrent*, p

ainsi dire, les uns dans les autres ; et toute la matière finit par se prendre en une masse solide.

Le plâtre doit être employé en poudre aussitôt qu'il est cuit : il perd de sa qualité à l'air. Quand il y est resté exposé, qu'il n'a plus d'onctuosité et qu'il prend mal, les ouvriers disent qu'il est *éventé;* quand il n'a pas été assez cuit, il est aride et ne forme pas un corps solide ; s'il est trop cuit, il n'a plus d'*amour*, comme disent les ouvriers de Paris ; lorsqu'il a été cuit à point, on sent, en le maniant, qu'il est doux et qu'il s'attache aux doigts.

Les gypses purs donnent, quand leur cuisson est bien faite, un plâtre blanc et fin, qui se gonfle beaucoup. Il est bon pour les mouleurs, mais il ne tiendrait pas assez pour les constructions. Il en sera parlé à la fin de ce chapitre.

Le plâtre à bâtir ne doit pas être pur, de même, comme nous le verrons bientôt, qu'il peut ne pas être cuit uniformément. Et ces deux circonstances, au lieu de lui nuire, comme on serait disposé à le croire, lui sont, au contraire, très-favorables.

C'est à l'impureté, ou à la chaux contenue dans le plâtre de Paris, qu'on lui attribue la propriété d'être le meilleur plâtre du monde. Cette chaux est en petites molécules qui, en raison de leur grande division, se calcinent aisément et passent à l'état de chaux vive, en même temps que le plâtre se cuit. Quand on gâche le plâtre, cette chaux vive « ayant d'abord absorbé l'eau qui lui est nécessaire pour son extinction, dit Fourcroy, le plâtre qui est interposé entre les molécules, en attire une portion, et se cristallisant subitement, produit l'effet du sable et du ciment dans le mortier, en liant et en accrochant, pour ainsi dire, ensemble les parcelles calcaires. »

Le carbonate de chaux entre, dans le plâtre des environs de Paris, à peu près dans la proportion de 0,12 de son poids. La pierre est une sorte de brèche formée de

très-petits cristaux grenus de sulfate de chaux et de lames très-ténues de carbonate de chaux. On assure, dit M. Thénard, qu'en ajoutant une certaine quantité de carbonate de chaux au plâtre fin, environ 12 pour 100 on le convertit en plâtre ordinaire, d'où il suit que la présence de ce carbonate aurait une influence réelle sur la consistance du plâtre.

Contrairement à l'opinion ci-dessus, qui fait attribuer la qualité du plâtre de Paris à la présence de la petite quantité de carbonate de chaux contenu dans la pierre à plâtre, M. Gay-Lussac dit qu'il est impossible que ce carbonate se transforme en chaux pendant la cuisson, parce que le plâtre n'est jamais à une température assez élevée pour que le carbonate de chaux soit décomposé. MM. Pelouze et Frémy sont aussi de cet avis. Suivant M. Gay-Lussac, la différence des divers degrés de consistance que prennent avec l'eau les plâtres cuits, ne dépend que de la dureté qu'il présente à l'état cru, dureté, ajoute-t-il, qu'on ne peut expliquer et qu'on doit prendre comme un fait. (*Ann. Chim. et Phys.*, XL, 436.)

Cependant, s'il est reconnu que la présence du carbonate de chaux dans la pierre à plâtre contribue à la consistance du plâtre cuit, et s'il faut que ce carbonate de chaux soit nécessairement transformé en chaux vive, ne peut-on pas faire valoir en faveur de sa décomposition l'état de division extrême dans lequel il se trouve en présence de la vapeur d'eau qui, en se dégageant de la pierre à plâtre, doit être si favorable à cette décomposition?

Cuisson du Plâtre.

164. Nous venons de voir à quelle température doit être soumise la pierre à plâtre. Longtemps on a pensé qu'il fallait une chaleur de plus de 200 degrés; mais les expériences de MM. Gay-Lussac et Payen ont démontré que la cuisson du plâtre s'opère entre la limite de 8[illegible] degrés à celle du rouge sombre, et qu'en deçà et au-

elà, on obtient un produit inerte, qui ne peut absorber eau.

Cette cuisson se trouve réduite à une simple dessiccaon, et l'on conçoit qu'il serait très-facile de l'opérer vec de la vapeur d'eau. C'est ce dont il sera question ı terminant ce chapitre.

Ce qui peut paraître singulier au premier abord, c'est ıe le plâtre ne demande pas une cuisson parfaitement niforme, comme nous allons le voir.

On pourrait cuire le plâtre dans des fours à chaux, ais on en fait rarement usage. Le procédé qui semble ıcore le meilleur est extrêmement simple : il consiste construire, à sec, avec des morceaux de plâtre cru, usieurs voûtes sous un hangar. (Voir les figures 61 et 2, qui donnent un aperçu de cette disposition.) Ces voûtes leurs piles sont faites avec des morceaux de plâtre ıoisis. Puis on les charge de pierre à plâtre, en ayant ɔin de commencer par les plus gros morceaux, entre squels on ménage des interstices, puis on finit par les us petits fragments, en graduant suivant la grosseur.

On allume un feu de bois sous ces voûtes, comme dans s fours à chaux, et on l'entretient jusqu'à ce que les pieres commencent à rougir. L'opération dure en moyenne ix heures.

Il est évident que le plâtre ne se cuit pas uniforméent : celui qui est près du feu est trop cuit; seul, il ne rait pas prise avec l'eau ; celui qui est le plus éloigné 'est pas assez cuit, il reste contenir encore trop d'eau our ne pas être également inerte. Mais le tout mélangé onnera un plâtre d'excellente qualité. Au lieu d'opérer insi, dit M. Curtel, on pourrait cuire également le plâtre ans toutes ses parties, et ajouter ensuite des matières trangères qui n'auraient pas subi les frais de cuisson.

Quand la cuisson est terminée, on bouche les passages t l'on recouvre le tas avec des fragments et la poussière u plâtre écrasé dans l'exploitation.

On voit que la fabrication du plâtre est chose bien simple : il suffit de débarrasser la pierre à plâtre de son eau de cristallisation, ce qui n'est qu'une évaporation, une simple dessiccation, comme il est dit plus haut. Elle exige moins de feu et moins de temps que la cuisson de la pierre à chaux, parce que l'acide carbonique qu'elle contient y est intimement combiné, et que l'affinité de la chaux pour cet acide est très-grande.

Néanmoins, la question du chauffage a encore sa grande importance, comme dans toutes les industries, au point de vue du prix de revient.

Un four ainsi construit contient ordinairement de 100 à 120 mètres cubes de pierre à plâtre. En temps ordinaire, la cuisson demande trois jours et absorbe douze cent fagots. Ces fagots qu'on payait autrefois 12 et 15 fr. le cent, valent aujourd'hui jusqu'à 30 et 32 fr.; aussi, tout en continuant à dénommer leur plâtre, plâtre au bois, beaucoup de fabricants emploient-ils, sinon exclusivement, du moins en partie, de la houille de préférence à l'état de briquettes. L'augmentation de la main-d'œuvre et celle du combustible sont les principales causes de celle du plâtre, dont le prix augmente tous les jours. Malgré cela, est-ce routine, est-ce insuccès réel, tous les autres procédés de cuisson essayés jusqu'ici n'ont donné que des résultats imparfaits, et ont été peu ou point appliqués.

Un four pareil à ceux que nous venons de décrire emploie deux hommes pour le monter, conduire le feu et défourner, plus un certain nombre de manœuvres apportant la pierre crue ou emportant la pierre cuite et concassée sur place en la chargeant au moulin.

Ordinairement, on emploie le bois pour cuire le plâtre. On se sert quelquefois de la houille. Dans le département de Saône-et-Loire, on a fait des fours à la houille, à deux foyers consommant 1,120 kilog. de houille pour cuire 25,000 kilog. de plâtre. Quand le plâtre est destiné à l'agriculture, on le cuit tout simplement dans des fours

haux. Mais quand il doit rester blanc et servir aux constructions, on ne peut employer ce moyen.

A Paris, on a essayé, dit M. Curtel, d'employer la chaleur perdue des fours à coke pour cuire le plâtre. On obtient d'excellents résultats en dirigeant la chaleur perdue de trois fours à coke sur un four à plâtre de très-grandes dimensions, en ayant soin d'échelonner la préparation du coke, de telle manière qu'elle se trouve dans chaque four à une époque différente; on obtient une chaleur moyenne qui varie peu pendant la cuisson; il est bien entendu que l'on doit avoir deux fours, l'un que l'on prépare pendant que la cuisson s'opère dans l'autre.

165. *Four de M. Brisson.* — On a construit dans l'établissement de M. Drevet, à Pantin, un four analogue aux fours à gaz. Il y a huit cornues, contenant chacune 2 hectolitres de plâtre, chauffées par un seul foyer. Le service de ce four n'exige qu'un ouvrier. L'idée en est due à M. Brisson.

Il est facile de comprendre que ce système a pour avantages de cuire uniformément toutes les pierres et de donner du plâtre bien blanc. De plus, le travail peut être continu. Mais on n'opère que sur des quantités relativement peu considérables, et il est bon d'attendre les résultats de l'expérience pour se prononcer, toutes choses considérées, sur le mérite de l'idée de M. Brisson.

Four à plâtre continu de M. Ramdohr.

Ce four réunit toutes les conditions désirables comme uniformité de cuisson, économie de combustible et main-d'œuvre (fig. 49).

Il se compose d'une ou plusieurs cornues en fonte verticales, ouvertes par le dessus. Ces cornues de section ovale, sont formées de pièces distinctes réunies par des manchons cimentés. La cornue est soumise à l'action du feu sur les 2/3 de sa hauteur, la partie inférieure qui mesure 1 mètre environ, sert à refroidir le gypse et re-

çoit l'appareil de défournement. La section elliptique présente suivant son grand axe $0^{m}.96$, et $0^{m}.32$ suivant le petit à la partie supérieure, et $0^{m}.23$ seulement à la partie inférieure.

Le défournement se fait à l'aide de trois soupapes coniques fermées par des manchons de même forme qui sont mises en mouvement au moyen d'une manivelle d'un pignon et d'excentriques comme l'indique la fig. 50. Un seul homme peut aisément mener une batterie de 7 à 9 cornues.

Chaque cornue débite en 24 heures 6 charges de 6 hectolitres, soit 36 hectolitres de gypse calciné, et consomme sur la grille qui présente $0^{m2}.125$ de superficie, 4 hectolitres ou 600 kilog. de lignite, ou 200 kilog. de houille.

Four à plâtre continu de M. Hanctin.

L'emploi de ce four se distingue des autres procédés décrits, en ce que l'on broye la pierre crue avant de la soumettre à la cuisson. Le four se compose d'un faisceau tubulaire légèrement incliné, relié solidairement à un arbre animé d'un mouvement de rotation modéré. La flamme circule autour de ces tubes, et le plâtre en descendant lentement subit la cuisson. Chaque tube porte une trémie dans laquelle vient se déverser le plâtre cru.

Le fonctionnement de l'appareil est des plus simples. Il est facile, en réglant d'une façon relativement convenable la longueur des tubes avec le foyer, d'obtenir une cuisson régulière.

Cuisson du plâtre au moyen des gaz combustibles.

166. L'utilisation de la chaleur perdue des fours à coke, dont il vient d'être parlé, n'est pas toujours une chose praticable, et, quoi qu'on en dise, l'application de cette théorie est peut-être loin d'être aussi simple et aussi facile qu'elle le semble au premier abord. Il pourrait bien arriver souvent que l'un des deux produits, le plâ-

re ou le coke, ne soit bien fabriqué qu'aux dépens de 'autre. Je crois qu'on ne réussirait que dans une grande xploitation, conduite avec soin et une grande surveil-ınce.

Cependant la cherté du bois dans beaucoup de pays, ıt surtout à Paris, a fait naître le désir de le remplacer l'une manière quelconque dans la cuisson du plâtre, oit en se servant directement d'un autre combustible, oit en le soumettant à l'action d'un véhicule de chaleur, omme la vapeur d'eau, dont il sera question plus loin, oit en se servant de gaz combustibles, comme les flam-nes perdues d'un four servant à quelqu'autre usage hauts-fourneaux, fours à coke, fours à chaux, etc.), ou ırovenant d'une transformation d'un combustible solide ıuelconque en combustible gazeux, ce qui permet de irer parti de mauvais combustibles, tels que les anthra-ıites, les tourbes, le fraisil, les escarbilles, les menus nélangés de matières étrangères, et qui sont sans va-eur pour être brûlés directement.

J'ai assisté à beaucoup d'expériences exécutées à ce ujet, par M. Beaufumé, aux carrières de Vaujours et de 'antin. Elles étaient surtout faites avec l'intention de irer parti de combustibles qui, en brûlant à la manière ırdinaire, ne donnent pas de flamme. Je vais en expli-ıuer le principe.

Supposons qu'on veuille transformer du coke ou du charbon de bois en un gaz qui brûle, ou oxyde de car-ɔone. Si l'on introduit l'un de ces combustibles solides lans un vase clos, qu'il y soit allumé, et qu'on insuffle le l'air d'un côté du vase, tandis que le gaz sortira de 'autre, ce gaz sera de l'oxyde de carbone (CO) qui se sera formé, si le charbon est en excès, par la combinai-son d'un équivalent de carbone avec un équivalent d'oxy-gène de l'air. Cet oxyde de carbone, dirigé sur un point quelconque, dans un tas de pierre à plâtre, par exemple, peut s'allumer et brûler au contact de l'air et dévelop-per beaucoup de chaleur, en formant de l'acide carbo-nique (CO^2).

Cette idée n'est pas neuve. La priorité en a été vive-ment discutée, il y a vingt-cinq ans, entre M. Ebelmer et MM. Thomas et Laurent. Elle a donné lieu à la cons-truction et à la mise en roulement de fours établis dan de grandes proportions, par M. Ebelmen aux frais d l'Etat, dans les usines d'Audincourt. Elle a été mise e pratique en Silésie, où l'on transformait la houille e gaz pour l'alimentation des fours de mazéage et de pud-dlage. On l'a appliquée aussi en Autriche, en se servan de lignite terreux de mauvaise qualité, ce qui n'empê-chait pas la combustion du gaz de produire aisément l température nécessaire au puddlage de la fonte.

Le four, ou générateur à gaz, établi par M. Ebelmen Audincourt, consistait en un fourneau à cuve très-large qui recevait l'air atmosphérique par deux tuyères. O chargeait le combustible par une ouverture qui formai la partie supérieure d'un vide conique. Cette ouvertur était fermée dans l'intervalle de deux charges. Les ga sortaient du générateur et étaient conduits dans un fou à réverbère par un conduit. L'air qui devait les brûle était projeté par une caisse à vent percée de deux ran-gées de trous, et la combustion s'achevait dans un es-pace peu étendu placé immédiatement avant la sole d four, qui servait à fabriquer des tôles soudées; l'ai était chauffé, avant d'arriver dans la caisse à vent, pa son passage dans une série de tuyaux chauffés par l chaleur perdue du four. — Le combustible qu'on em-ployait dans le générateur était de la petite braise, qu se trouve principalement au cœur des meules de carbo-nisation, et comme résidu dans les halles à charbon L'analyse des gaz obtenus avec ce combustible a donn à M. Ebelmen, pour leur composition :

Acide carbonique.	0.5
Oxyde de carbone.	33.3
Hydrogène.	2.8
Azote.	63.4
	100.0

En substituant du coke au charbon de bois dans le générateur, la composition des gaz est, pour ainsi dire, la ıême.

M. Ebelmen a aussi essayé l'*emploi simultané de l'air et e la vapeur d'eau.* « Si l'on injecte, dit-il, dans la tuyère 'un générateur, comme celui d'Audincourt, de l'air et ne certaine quantité de vapeur d'eau, on reconnaît imıédiatement qu'il en résulte un grand abaissement dans ι température du fourneau. L'œil de la tuyère, qui tait d'un blanc éblouissant quand on n'injectait que de air, devient rouge, et les scories produites par les cenres du combustible ne fondent plus. On conçoit que ıbsorption de chaleur rendue latente par la décompotion de la vapeur limite nécessairement le volume de ılle-ci. En la chauffant à la sortie de la chaudière on ɔurra en introduire une quantité d'autant plus considérable que la température sera plus élevée. Dans une ɛpérience où le volume de l'air était cinq fois plus considérable que celui de la vapeur d'eau, et où celle-ci était ɔrtée à une température de 250°, j'ai obtenu dans un ınérateur alimenté avec du charbon de bois, des gaz rmés de :

Acide carbonique.	5.6
Oxyde de carbone.	27.2
Hydrogène.	14.0
Azote.	53.2
	100.0

On voit que la vapeur d'eau s'est décomposée au conct du charbon, de façon à produire de l'acide carboniıe et de l'hydrogène ; l'acide carbonique n'a pas pu se ıanger en oxyde de carbone par défaut de chaleur disɔnible dans le générateur...

« On voit, ajoute M. Ebelmen, que l'on possède des oyens faciles et économiques de transformer un comıstible en un produit gazeux inflammable. Cette transrmation présentera-t-elle quelques avantages ?

« On peut transformer en gaz des combustibles char-gés de cendres ou d'une faible valeur calorifique qui n peuvent pas, dans l'état actuel, être utilisés avec avan tage dans les opérations des arts. L'emploi du généra teur de gaz a précisément pour résultat de dégager l partie combustible de la partie minérale...

« La substitution des gaz aux combustibles solide doit permettre de réaliser une économie sur le combus tible. En effet, dans les procédés actuels le combustib est introduit froid sur la grille des fours, et c'est de l'ai froid qui est appelé par le tirage de la cheminée. Le combustibles gazeux ne doivent être brûlés qu'aprè avoir été fortement échauffés, et c'est de l'air chau qu'on emploie pour cette combustion. On se trouve don ici dans les circonstances les plus favorables pour obt nir une température de combustion aussi élevée que po sible...

« Enfin, un seul générateur de gaz établi sur des d mensions suffisantes, peut alimenter à la fois un gran nombre de foyers. Dans les ateliers où l'on a souvent u grand nombre de foyers distincts, il serait probableme fort avantageux de remplacer les combustibles solid par les gaz. Avec une conduite générale de gaz parta du générateur et communiquant par des embranchemen avec chaque foyer, de façon à ce que l'ouverture d'u registre suffise pour introduire les gaz et l'air combu rant en proportion plus ou moins considérable, suiva la température qu'on veut obtenir, on arriverait avec f cilité à l'exécution de ce système.

« La transformation des combustibles en gaz nécessi il est vrai, une force motrice assez considérable po l'injection de l'air dans le générateur, et ensuite da les foyers de combustion des gaz ; mais comme il n'y pas de tirage à établir dans ceux-ci, on peut utiliser totalité de la chaleur sensible des gaz après leur combu tion et leur passage sur la sole du four, et cette qua tité de chaleur perdue serait plus que suffisante, dans

ıpart des cas, pour chauffer les gaz à brûler, l'air comrant et la chaudière à vapeur qui fournirait la force trice pour la machine soufflante. »

I. Ebelmen était un savant distingué, il avait à sa position tout ce qui peut contribuer à la réussite d'un océdé nouveau : comment se fait-il qu'après tant d'éles, de travaux et de dépenses, la transformation des nbustibles solides en combustibles gazeux n'ait pas de suite ? Comment M. Ebelmen, et tant d'hommes caoles avec lui, auraient-ils pu se tromper assez grosrement pour que le procédé fût absolument mauvais de nulle valeur.

Ces réflexions sont peut-être venues à M. Beaufumé, i n'avait pas été sans entendre au moins parler des périences de M. Ebelmen, quand il a eu l'idée de faire ssi un générateur à gaz.

Le générateur de M. Beaufumé, dont j'ai fait mention ıs haut et que j'ai vu fonctionner d'une manière satissante à Vaujours et à Pantin, était absolument sur le me principe que ceux de M. Ebelmen ; mais l'appareil it sensiblement modifié : au lieu d'un volumineux rneau à cuve, bâti en briques, sujet à se détériorer, Beaufumé avait adopté un grand cylindre en fonte ou tôle, entouré d'un autre cylindre formant une doue enveloppe ; l'espace annulaire entre le générateur et double enveloppe était rempli d'eau qui se chauffait et i produisait la vapeur nécessaire dans le générateur. présence de cette eau avait l'avantage de préserver parois du générateur de la destruction qui aurait été oduite par une chaleur trop élevée. Un agitateur reıait le combustible dans l'intérieur du générateur and on le jugeait à propos ; il servait aussi à indiquer hauteur à laquelle atteignait le combustible, qu'on reırgeait au moyen d'une double trémie sans interrome le travail. L'air était envoyé par la machine soufıte sous une grille mobile qui supportait le combustible qui permettait à la cendre de s'en séparer en tombant ıs un cendrier hermétiquement fermé.

Les gaz formés dans le générateur en sortaient par un tuyau latéral qui les conduisait, avec une assez forte pression, au centre du four à plâtre disposé à la manière ordinaire.

On commençait par enflammer ces gaz, et ils continuaient à brûler jusqu'à ce qu'on arrêtât l'opération.

L'appareil était disposé de manière à utiliser la vapeur d'eau, dont la décomposition en hydrogène et en oxyde de carbone serait venue augmenter considérablement la valeur de ce système, si la décomposition s'était bien opérée comme le croyait M. Beaufumé, et si d'ailleurs l'on n'avait été obligé de se borner à une quantité relativement restreinte de vapeur, à cause de l'absorption de chaleur qu'elle opérait dans le générateur. Ici, quand on voulait arrêter l'opération, au lieu d'abattre la grille et d'éteindre le combustible en jetant de l'eau dessus, on se bornait, en raison du refroidissement que produit la vapeur d'eau, à en injecter une plus grande quantité pour éteindre la masse de combustible.

Suivant les comptes qui ont été établis dans le temps des expériences faites à la plâtrière de MM. Noirot et Cie et qui exigeraient peut-être de nouvelles vérifications la cuisson du plâtre coûtait moitié moins cher avec l'appareil de M. Beaufumé que par les procédés ordinaires.

Quoi qu'il en soit, il n'est plus aujourd'hui question nulle part, à ce que je crois, d'applications du système de transformation des combustibles solides en combustibles gazeux, pas plus au moyen de l'appareil de M. Beaufumé que de celui de M. Ebelmen. Faut-il en conclure que ce système doit être à tout jamais proscrit et qu'il serait insensé d'essayer à le faire revivre, au moins dans certaines circonstances et pour certaines applications, comme, par exemple, dans la cuisson du plâtre et en vue d'utiliser des combustibles sans valeur. Telle n'est pas mon opinion. C'est pourquoi j'ai donn[é] les quelques renseignements qui précèdent et qui pour

aient servir à ceux qui voudraient faire des essais dans ette voie.

La question du chauffage est extrêmement intéressante. Celui qui parviendrait à opérer une économie sensible ur cette partie de la fabrication du plâtre, réaliserait ertainement, et en peu de temps, une fortune considé-able.

Plus loin se trouve une autre note de M. Testud de Beauregard sur la *cuisson du plâtre* par la vapeur pneu-nato-calorifique de son système.

Nous allons terminer ici par reproduire la description ui a été donnée par M. Ebelmen d'un des fours à réver-ère alimentés par un *générateur à gaz*, tel qu'il a été onstruit et mis en roulement dans les usines de la com-agnie d'Audincourt.

« Le générateur de gaz A (fig. 63) est un fourneau à uve très-large qui reçoit l'air atmosphérique par une u deux tuyères *t t*. On charge le combustible par l'ou-erture B qui forme la partie supérieure d'un vide coni-ue et qui est fermée dans l'intervalle de deux charges. es gaz arrivent dans le four à réverbère par le conduit ; l'air qui doit les brûler est projeté par la caisse à vent , percée de deux rangées de trous au moyen desquels a combustion des gaz s'achève dans l'espace peu étendu lacé immédiatement avant la sole M du four. L'air qui roduit la combustion des gaz est chauffé avant d'arriver ans la caisse F par son passage à travers les tuyaux D, hauffés par la chaleur perdue du four, et l'on peut faci-ement porter sa température à 300°. »

La construction du four n'a pas d'importance pour otre sujet, puisqu'il servait à fabriquer des tôles sou-ées. Sa disposition doit varier avec l'usage auquel on le estine.

Le combustible qu'on employait dans le générateur A tait de la petite braise qui se trouve principalement au œur des meules de carbonisation, et comme résidu dans

les halles à charbon. L'analyse des gaz obtenus avec ce combustible a donné, pour leur composition :

Acide carbonique.	0.5
Oxyde de carbone.	33.3
Hydrogène.	2.8
Azote.	63.4
	100.0

Le chargement du combustile par l'ouverture B, ajoute M. Ebelmen, ne s'opère qu'à d'assez longs intervalles. Si, en effet, on introduisait du charbon froid dans le générateur, la température des gaz qui s'en dégageraient par le rampant C s'abaisserait considérablement, et il en serait de même pour la température du four.

Il est facile d'expliquer pourquoi, dans les dispositions précédentes, on a accolé le générateur au four à réverbère. Les gaz qui proviennent du passage de l'air à travers le charbon, possèdent une température élevée, et qu'on peut bien évaluer à 500 ou 600°. Si le générateur était éloigné du four, une grande partie de cette chaleur serait perdue par les conduits, et la température de combustion s'abaisserait dans le four. Avec la méthode adoptée pour le chargement du charbon, on voit que la température des gaz augmente à mesure que l'opération avance, et, par conséquent, la température de combustion doit s'accroître jusqu'à la fin, circonstance très-favorable au succès de l'opération.

On explique de même l'avantage que l'on a à employer, pour la combustion du gaz, de l'air chaud au lieu d'air froid. Il en résulte une élévation correspondante de la température de combustion, et, dit M. Ebelmen, plus la température de combustion est élevée, moins on consomme de combustible pour produire un effet déterminé. Au reste, la température produite dans le four à réverbère, que nous décrivons, est tellement élevée, qu'on a dû réduire la température de l'air comburant à 150°. Quand il est chauffé à 300°, il est presque impos-

ible d'empêcher la fusion de la voûte du four après uelques jours de roulement, bien qu'elle soit formée es matériaux les plus réfractaires.

La quantité de gaz qui arrive dans le four est propor-onnelle au volume d'air qui pénètre dans le générateur ar les tuyères *t*. On règle la quantité d'air nécessaire our la combustion du gaz au moyen d'un registre. omme la combustion s'opère ici sous pression, il sort oujours une flamme par la porte du four. On juge faci-ement, d'après la couleur qu'elle présente, s'il y a excès 'air ou de gaz dans le four. Une flamme bleuâtre an-once la présence de l'oxyde de carbone non brûlé, andis qu'une flamme courte et jaunâtre indique un xcès d'air.

Pour que le générateur de gaz marche d'une manière ontinue et régulière, il faut qu'on puisse se débarrasser acilement des résidus de la combustion. En ajoutant au harbon un fondant, dont la nature et la proportion sont éterminées par la composition des cendres, on forme n laitier qui se rassemble dans le creuset et s'écoule ar la partie inférieure du générateur.

Cuisson du plâtre par la vapeur d'eau surchauffée.

167. L'emploi de la vapeur d'eau, surchauffée ou non, été essayé à plusieurs reprises et dans diverses appli-ations, comme mode de transport du calorique. MM. Tho-aas et Laurent, qui ont déjà été cités à propos des gaz ombustibles, en ont fait l'essai dans la revivification du oir animal, ainsi que dans l'extraction des huiles de chiste. M. Violette a essayé et indiqué de nombreuses pplications de la vapeur d'eau surchauffée, comme la arbonisation du bois en vase clos, la cuisson du pain, de a chaux, du plâtre, la distillation du mercure, etc. Dans es diverses applications, on dit que la vapeur d'eau urchauffée n'agit pas seulement comme véhicule de haleur, mais comme corps très-avide d'eau, et, parfois,

comme facilitant le dégagement de l'acide carbonique, et d'autres corps susceptibles d'être séparés par distillation.

Nul doute que la vapeur d'eau ne puisse être employée au chauffage dans beaucoup de circonstances, comme pour calorifères, fabrique de bougies, chauffage de bains, etc.; mais nous croyons que les idées de MM. Thomas et Laurent, ainsi que celles de M. Violette, n'ont pas ou n'ont plus aujourd'hui d'applications industrielles.

Quoi qu'il en soit, nous croyons bien faire en donnant à nos lecteurs le document suivant, qui traite directement le sujet qui nous occupe : c'est un *Mémoire de M. H. Violette sur la cuisson du plâtre par la vapeur d'eau surchauffée.*

Les procédés en usage pour la cuisson du plâtre, dit M. Violette, présentent des inconvénients, entre autres l'inégalité de la cuisson des pierres dans les diverses parties des fours, des charges quelquefois imparfaitement cuites ou trop calcinées, et enfin, la fumée et la poussière de charbon qui ternissent la blancheur de la matière.

On a, il est vrai, cherché à cuire le plâtre dans des fours à coke, ou bien au moyen d'un courant d'air chaud, ou encore, comme les mouleurs, à faire cuire le plâtre cru réduit en poudre, dans des appareils en tôle fixes ou mobiles, chauffés à feu nu, etc. Mais les divers procédés qui donnent un plâtre préférable à celui ordinaire, offrent encore l'inconvénient de ne pas permettre de régler et de fixer la température. C'est une routine aveugle, incertaine, qui ne peut donner que des produits douteux et de qualité variable. De plus, la fabrication ne saurait se faire que dans des limites très-resserrées.

Le nouveau procédé que je vais décrire réunit complétement toutes les conditions nécessaires à la cuisson du plâtre, et va permettre de ranger la préparation de cette matière au nombre des opérations les plus simples, les plus certaines et les mieux réglées par une saine pratique.

L'agent calorifique qui remplace le feu de bois ou de ouille, et qui, au lieu de flamme, immerge la pierre à lâtre, la dessèche et la cuit parfaitement dans un temps éterminé, c'est la vapeur d'eau surchauffée, c'est-à-dire a vapeur qui, au sortir du générateur, passe par un serentin chauffé spécialement, et y prend la température onvenable.

L'appareil se compose d'un générateur ou chaudière à apeur ordinaire, d'un serpentin en métal et d'un double écipient en maçonnerie contenant la pierre à plâtre. Ce écipient de forme ovale, assez semblable à un four à haux, a deux ouvertures opposées qu'on peut fermer ermétiquement et qui servent à charger et décharger e plâtre; les tuyaux garnis de robinets établissent la ommunication entre ces diverses parties de l'appareil; n thermomètre, placé près du récipient, indique la temérature de la vapeur avant son entrée dans ce dernier. 'oici la marche de l'opération :

La vapeur engendrée par le générateur circule dans le erpentin, s'y échauffe au degré convenable, pénètre dans e premier récipient, immerge dans toute sa masse la ierre contenue, l'échauffe en pénétrant dans ses pores, a cuit peu à peu et également, circulant dans tous les ides et intervalles, passe dans le récipient voisin égalenent chargé de pierre, et s'échappe dans l'air, entraînant oute l'humidité du plâtre, dont sa température élevée ui a permis de se charger.

La cuisson ne s'opère pas également dans les deux écipients, elle a lieu parfaitement dans le premier réipient ou le plus voisin du générateur, parce que la apeur y pénètre de premier jet avec la température écessaire de 200 degrés.

Mais on conçoit qu'à son entrée dans le second récient, elle n'a plus la chaleur suffisante, aussi ne fait-elle ue préparer utilement la cuisson de ce dernier, en éleant successivement sa température au lieu de se perdre nutilement dans l'air, à sa sortie du premier récipient.

Lorsque la cuisson de celui-ci est terminée, on intervertit la direction de la vapeur en la dirigeant de premier jet dans le second récipient, dont elle termine promptement la cuisson déjà bien préparée, et de second jet dans le premier récipient qu'on a promptement chargé de matière.

Il peut sembler, au premier abord, assez extraordinaire de cuire ou dessécher le plâtre avec la vapeur d'eau, mais cet étonnement cessera en considérant la vapeur d'eau surchauffée à 200 degrés comme un gaz qui, en raison de l'élévation de sa température, est avide d'eau, et l'enlève à tous les corps qu'il touche.

Je rappellerai comme exemple et comme témoignage, qu'indépendamment de la carbonisation du bois, j'ai parfaitement opéré la cuisson du pain et du biscuit dans un courant de vapeur d'eau surchauffée.

Le nouveau procédé de la cuisson du plâtre, par la vapeur d'eau surchauffée, a la sanction de l'expérience, et je vais rapporter les essais que j'ai faits sur des quantités notables, et qui permettent d'en garantir le succès. Je n'émets pas ici des suppositions, des probabilités faciles, mais des faits que chacun peut apprécier.

Je me suis servi d'un appareil que j'ai établi dans la poudrière d'Esquerdes, que je dirige, pour la carbonisation du bois par la vapeur d'eau surchauffée, et qui remplit parfaitement sa destination en produisant du charbon de la qualité la plus précieuse pour la fabrication des poudres à feu. (Fig. 55, 56, 57 et 58.)

Dans le cylindre K, dont la capacité est de $0^{m.c.}180$, j'ai introduit et amoncelé 150 kilogrammes de pierre à plâtre concassée en fragments cubiques ou petits pavés de 10 à 15 centimètres de côté. La qualité de la pierre était fort variable, depuis celle qui est jaune, tendre, friable, facile à cuire, jusqu'à celle qui est dure, compacte, cristalline et de cuisson difficile. J'ai fait circuler la vapeur à la tension de 1/2 atmosphère seulement, et pendant toute la durée de l'expérience, j'ai maintenu s

mpérature accusée par le thermomètre placé à sa sortie, ıns les limites comprises entre 190 et 200 degrés. La ıantité de vapeur qui circulait dans l'appareil était de) kilogrammes par heure.

J'ai prolongé l'expérience pendant neuf heures consé-ıtives; après les trois premières heures écoulées, j'ai ıvert l'appareil et pris des échantillons de plâtre en fférents points de la charge. Après les six premières ıures écoulées, j'ai pris dans la même charge de nou-ıaux échantillons; enfin, après neuf heures écoulées, ıi prélevé des échantillons et retiré la charge qui a été ısée immédiatement. La pierre avait perdu 18 pour 100 ı son poids, ce qui indiquait qu'elle était parfaitement ıite, ce qu'il était facile de voir à son aspect d'une latante blancheur, et à sa consistance friable, farineuse comme onctueuse au toucher. Ces caractères exté-ıurs ne me suffisaient pas, et il m'importait de cons-ter et de reconnaître comparativement, par un procédé, qualité de ces nouveaux plâtres.

J'ai employé le procédé suivant, conseillé par M. Payen. plâtre parfaitement cuit doit absorber 3/4 de son poids ıau, faire prise avec elle, et prendre une consistance ıme et solide au bout de quelques minutes. On mélange ınc 10 grammes de plâtre bien pulvérisé et tamisé, ec 32 grammes 1/2 d'eau, on agite et on laisse reposer. la consistance est nulle, si le plâtre se précipite, à tat sablonneux et pulvérulent, au fond de l'eau, c'est ı'il n'est pas cuit ou est trop cuit, c'est qu'il est mau-ıis; si la consistance est molle, c'est que le plâtre est édiocre, et la quantité d'eau qui en surnage indique, ıns l'échantillon, la proportion de parties mal cuites. Si consistance est dure et ferme, sans eau surnageante, ıst que le plâtre est parfait.

J'ai donc comparé les nouveaux plâtres, d'une part, ec le plâtre ordinaire de maçon cuit à Paris et de la eilleure qualité, et de l'autre, avec du plâtre de mou-ır également préparé à Paris, et j'ai reconnu :

1° Que le plâtre cuit à la vapeur pendant trois heures faisait avec l'eau la même prise que le plâtre ordinaire de maçon; qu'il lui était parfaitement égal, sauf sa blancheur éclatante, qui contrastait avec la teinte grise de ce dernier, mais qu'il n'offrait pas avec de l'eau la même prise que le plâtre de mouleur;

2° Que le plâtre cuit dans la vapeur pendant six heures faisait excellente prise avec l'eau, en tout semblable au plâtre de mouleur, et lui était parfaitement identique;

3° Que le plâtre cuit à la vapeur pendant neuf heures était excellent, mais ne présentait pas de supériorité appréciable sur le plâtre cuit pendant six heures.

J'ai fait une deuxième expérience, entièrement semblable, en élevant seulement à une atmosphère la pression ou tension de la vapeur : or, cette modification, qui élevait à 40 kilogrammes la quantité de vapeur circulant dans une heure, a opéré la cuisson en moins de temps mais cependant pas dans un rapport proportionnel à l'excédant de dépense. En conséquence, il convient de conserver à la vapeur une tension de 1/2 atmosphère au plus, peut-être 1/4, seulement celle suffisante pour assurer la circulation.

De tout ce qui précède, il résulte que, pour converti 150 kilogrammes de pierre mélangée en plâtre égal au plâtre ordinaire de maçon, il a suffi de la maintenir pendant trois heures dans un courant de vapeur d'eau surchauffée, débitant 20 kilogrammes à l'heure, ou, autrement dit, de les faire traverser par 60 kilogrammes d vapeur surchauffée. En admettant maintenant, conformément à la vérité, que le mètre cube de pierre concassé pèse 1,300 kilogrammes et produit 1,000 kilogrammes d plâtre cuit, on voit que la quantité de vapeur nécessair et suffisante pour cuire 1 mètre cube de pierre concassé et mélangée, est de 520 kilogrammes. Mais rappelons nous que les fours sont doubles, et que la vapeur, qui produit son premier effet dans le premier four, en soi avec une température de 200 degrés environ, pour entre

lans le second four chargé, l'échauffer et en préparer la :uisson. Celle-ci sera avancée lorsque la vapeur y entrera le premier jet, après avoir terminé l'opération dans le)remier four; la vapeur aura donc moins à faire, com)létera son effet utile plus rapidement, et nous serons :ertainement réservé dans notre appréciation en réduiiant de 1/3 la quantité de vapeur sus-énoncée. En conséquence, la quantité de vapeur nécessaire et suffisante pour cuire 1 mètre cube de pierre concassée, et produire 1,000 kilogrammes de plâtre dans un appareil semblable à celui décrit dans les figures, sera définitivement de 350 kilogrammes.

On admet dans la pratique que, dans les foyers de générateurs bien construits, 1 kilogramme de houille produit 6 kilogrammes de vapeur d'eau. La quantité de houille nécessaire pour cuire 1 mètre cube de pierre sera donc de 58k.33.

On compte dans le procédé ordinaire pratiqué à Paris, qu'il faut brûler *un cent* de fagots de bois valant 30 fr. pour cuire 10 mètres cubes de pierre. Quant au nouveau procédé, son prix de revient dépend uniquement de celui de la houille. Or, la houille de Charleroy coûte en magasin, hors Paris, 2 fr. 50 c. l'hectolitre pesant 85 à 90 kilogrammes. Celle d'Aniche coûte 3 fr. 20 c. Le mélange à parties égales de ces deux houilles donne un combustible convenable pour les fourneaux, ce qui porte à 26 fr. les 1,000 kilogrammes de la houille dont nous pouvons disposer. Il faut 58k.33 de houille pour cuire 1 mètre cube de pierre, ce qui fait ressortir à 1 fr. 50 c. le prix de la cuisson du mètre cube produisant 1,000 kilogrammes de plâtre. Le nouveau procédé présente donc un avantage de 1,49 par mètre cube. L'examen des avantages du nouveau procédé de cuisson du plâtre par la vapeur d'eau surchauffée sont assez importants, nous les indiquerons sommairement :

1° Supériorité et régularité dans la qualité du plâtre;

2° Blancheur et non plus cette couleur gris sale et

terne du plâtre-maçon ordinaire, maculé par la poussière du charbon;

3° Facilité dans la conduite de l'opération, puisqu'il suffit de chauffer une chaudière, opération aussi simple que facile;

4° Economie dans le prix de la cuisson, ainsi qu'il est facile de l'établir d'après les prix actuels de la cuisson et les détails dans lesquels nous sommes entré.

Mais l'avantage le plus précieux peut-être du nouveau procédé est de permettre de tirer parti de la vapeur, sans augmentation de dépense, en l'employant comme agent mécanique avant d'en faire usage comme agent calorifique. En effet, rien de plus simple que d'introduire la vapeur à sa sortie du générateur, d'abord dans une machine où elle agit comme force mécanique, et de la faire passer, à sa sortie de la machine, dans le serpentin où elle se surchauffe, pour circuler ensuite à l'état d'agent calorifique dans les fours. Dans l'appareil que je propose pour la cuisson de 100 mètres cubes par jour, la quantité de vapeur est suffisante pour faire fonctionner préalablement une machine de 80 chevaux. Il faudrait brûler par jour 6,000 kilogrammes de houille, valant 150 fr., pour alimenter cette machine seule : or, ce combustible, nécessaire à la cuisson du plâtre, ne coûtera rien pour l'alimentation de la machine; c'est donc une force motrice considérable, une machine de 80 chevaux disponible et gratuite.

Cet avantage est tel qu'il annulera les frais de la cuisson du plâtre, si l'on peut trouver à la machine un emploi convenable; or, sans parler ici de diverses industries, je pense qu'indépendamment du cassage de la pierre et de la mouture du plâtre cuit, il pourra être très-avantageux de broyer la pierre crue et de la vendre dans cet état en énorme quantité à l'agriculture, aux plâtriers et aux mouleurs qui la cuisent en cet état.

J'ai dressé le plan de la construction d'un appareil à cuire le plâtre par la vapeur d'eau surchauffée, et dans

quel on peut cuire 100 mètres cubes de pierre par our; en voici la description :

Fig. 59, section verticale par la ligne A, B, C, D, fig. 60.

Fig. 60, plan suivant la ligne E, F, G, H, fig. 59.

Cet appareil se compose de deux générateurs *a*, *a*, de a force réunie de 80 chevaux, avec un serpentin intéieur *k*, et de trois fours en maçonnerie *c*, *d*, *e* reliés entre ux par un système de tubes avec robinets; par l'ouverure supérieure *f*, *f*, *f*, on charge la pierre, et par l'orifice nférieur *g*, *g*, on retire le plâtre cuit. Voici la marche le la vapeur :

Je suppose que les trois fours *c*, *d*, *e* sont remplis de ierre, et que le four *c* reçoive le premier la vapeur qui asse ensuite dans le four *d*; on ouvre seulement les roinets 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, tous les autres sont fermés. La apeur engendrée par les générateurs *a*, *a* pénètre par le ube *h* dans le serpentin *k*, s'y échauffe, sort par le tube , rencontre un thermomètre placé sur ce tube, monte lans le tube *j*, puis passe dans le tube *v*, ensuite dans le ube *l*, pénètre de haut en bas dans le récipient *c*, traerse la pierre, l'échauffe, la cuit, remonte par ce tube ertical et coudé *m*, passe dans la branche horizontale *n* le ce tube, entre dans le récipient *d*, le traverse de haut n bas et remonte par le tube vertical et coudé *o*, pour e perdre dans l'air par un robinet placé sur un point le la portion horizontale du tube *p*.

La cuisson dans le four *e* étant terminée, il s'agit de aire pénétrer la vapeur de premier jet dans le four *d*, puis de deuxième jet dans le four *e*. A cet effet, on ouvre seulement les robinets 1, 2, 3, 6, 9, 10, et les autres sont fermés. La vapeur arrive dans le tube *j*, passe dans le tube *q*, puis le tube *n*, traverse de haut en bas le four *d*, remonte par le tube *o*, gagne par le tube *p* le four *e* qu'elle traverse, remonte par le tube vertical et coudé *r* pour se perdre dans l'air par un robinet placé sur un point de la portion horizontale du tube *s*.

S'agit-il, après la cuisson du four *d*, de faire passer la

vapeur *e* dans le four *c*, nouvellement rechargé d pierre, on ouvre seulement les robinets 1, 2, 10, 11, 4 5, et les autres sont fermés. La vapeur arrive dans l tube *j*, passe dans le tube *t*, puis le tube *u*, traverse d haut en bas le four *e*, remonte par le tube *r*, gagne, pa le tube *s*, *l*, le four *c* qu'elle traverse, remonte par l tube vertical et coudé *m* pour se perdre dans l'air pa un robinet placé sur le tube *n*.

L'opération continue ainsi de la même manière pa une rotation continue.

Note de M. Testud de Beauregard *sur la cuisson d plâtre par la vapeur désaturée à l'état naissant et sur-chauffée.*

168. M. Testud de Beauregard a eu l'idée d'applique à la cuisson du plâtre la vapeur sèche, qu'il produit a moyen d'appareils nouveaux. Son système de vaporisa tion consiste à injecter sur une surface chaude et dan une chaudière particulière, un filet d'eau qui se trans-forme instantanément en vapeur. Cette vapeur, soumis à l'action d'un surchauffeur puissant, bien supérieu aux surchauffeurs ordinaires, acquiert une températur aussi élevée que l'exigent les besoins de l'industrie, e qui peut se régler d'une manière constante.

Voici en quels termes M. Testud de Beauregard ex-prime les avantages produits par son nouveau systèm de cuisson du plâtre :

On sait aujourd'hui que la cuisson du plâtre par la vapeur est préférable. Cela tient à la facilité d'exécution d'une part, à la simplification des appareils qui, opé-rant avec un petit volume, permettent une fabrication importante tout en opérant sur de petites quantités à la fois, enfin, d'autre part, à la qualité et à la beauté du pro-duit. Il faut aussi mettre en ligne de compte la simili-tude de toutes les parties des produits obtenus.

D'après ce qui vient d'être dit, on aurait le droit de se

emander pourquoi l'expérience ayant prononcé, une uantité notable de fabricants produisent encore le plâ-e en suivant les premiers errements, c'est-à-dire avec s fagots et d'autres avec des fours.

Sans répondre directement à cette question qui peut nir un peu à la résistance de l'habitude, nous dirons ue la fabrication par la vapeur surchauffée est exces-vement souriante en théorie, mais hérissée de grandes fficultés en pratique.

En effet, la théorie indique que la vapeur doit agir à 00 degrés centigrades pour s'emparer de l'eau contenue uns la pierre. Deux graves inconvénients s'opposent à réalisation de ce problème.

Le premier, qui n'est pas le moins important, est l'ob-ntion de la vapeur à 200 degrés. Il n'entre pas dans otre cadre d'expliquer la formation de la vapeur et son uréchauffement, nous dirons seulement que la vapeur ui devrait être à 200 degrés ne l'est jamais d'une façon able, d'où dérive pour le fabricant une série de réus-tes et d'insuccès qui rendent la chose peu industrielle.

La vapeur se produit dans une chaudière à ébullition; le se surchauffe ensuite à l'aide d'un serpentin. Là est out le mal.

Le serpentin est un appareil assez sensible pour subir s influences du foyer d'une part; d'autre part, la va-eur produite par la chaudière entraînant forcément de eau soit mécaniquement, soit par le fait de la condensa-on dans les tuyaux, oblige ainsi le surchauffeur à se ansformer en générateur, et par ces deux causes, il se roduit alternativement un abaissement dans la tempé-ature demandée ou un excès de cette même tempéra-ure, tous deux nuisant au résultat que l'on veut ob-enir.

Une autre difficulté vient encore nuire à la réussite, urtout à son point de vue économique.

Supposons un instant que le fabricant ait à sa dispo-ition de la vapeur à 200 degrés d'une façon stable. Cette

vapeur, en présence de la matière froide, se condense spontanément et mouillera la matière que l'on dési dessécher. Certainement que dans ce sens, l'opératic continuant, le milieu ambiant s'élèvera à une tempér ture de 200 degrés, et définitivement le plâtre deviend anhydre; mais sans chercher à faire la critique de mode, nous ne pensons pas qu'il soit rationnel de con mencer par mouiller ce qui doit être séché, et si la f justifie les moyens, il serait au moins dans ce cas préf rable de commencer par la fin, ce qui est très-facile utilisant les gaz perdus de la combustion de la chaudiè à vapeur.

Marche de l'opération rationnelle d'un appareil de M. Te tud de Beauregard, *fabricant le plâtre d'une faç stable et par conséquent industrielle.*

Un générateur à vapeur désaturée à l'état naissant, la force de 10 chevaux, occupe avec son fourneau u cube de 1 mètre et demi et consomme par 24 heures travail 300 kilog. de charbon environ.

Cette vapeur, générée à 300 degrés sous une pressi de deux atmosphères effectives, est dirigée dans un pe appareil ayant pour but de la dépouiller de la conde sation qui a pu avoir lieu dans les tuyaux. (Nous n'avo pas ici à nous occuper de l'eau entraînée mécaniqu ment, puisque la chaudière est étanche d'une part, que d'autre part la vapeur est tellement sèche qu'e est complètement invisible.) Ce petit appareil, qui por le nom de purgeur, opère automatiquement, et par co séquent ne demande aucun soin, ce qui a son impo tance en industrie et particulièrement dans cette fabric tion. Continuant son trajet, cette vapeur sèche traver un appareil dit surchauffeur, conçu de façon à être to jours à l'abri des intermittences du foyer, à cause de masse faisant réservoir de calorique; par sa constru tion, il est tout-à-fait à l'abri des coups de feu, et p

ıséquent de destruction inattendue; son usure est ra-
nnelle, calculée d'avance, ce qui en fait sérieusement
appareil usuel de longue durée.

)ans cet appareil et pour la fabrication qui nous oc-
ɔe, la température de la vapeur doit être portée de
, 500 degrés.

ʀappelons ici, que dans ce cas, cette température sera
ıstante et qu'il n'est pas possible, même en le voulant,
la faire varier en moins d'une demi-heure.

Nous voilà donc arrivés à cette stabilité obligatoire
ıs la fabrication qui nous occupe, quant à la vapeur.
is nous retomberions inévitablement dans l'inconvé-
nt que nous avons signalé plus haut, si cette vapeur
it dirigée dans un récipient contenant de la pierre
ide. Néanmoins, nous aurions encore gagné la diffé-
ıce de saturation de la vapeur qui, sous un même vo-
ne, contient moitié moins d'eau et beaucoup plus de
orique, ce qui la rend *à priori* plus avide d'eau, et
r conséquent plus apte à la dessiccation souhaitée.

C'est ici le cas de rappeler ce que nous avons dit plus
ut : « la fabrication serait bonne si l'on commençait
r la fin, » ce qui veut dire : éviter toute perte de temps
d'argent en empêchant toute condensation de la va-
ır; comme, dans ce cas, cette vapeur ne doit être con-
érée que comme véhicule calorifique, la construction
s fourneaux permet au récipient contenant la pierre à
ssécher de s'approprier, à l'aide de carneaux, la cha-
r naguère perdue, contenue dans la fumée, produit
la combustion sous le générateur. Cette chaleur est
ueillie par les carneaux supérieurs, tandis que les
neaux inférieurs reçoivent la chaleur directement, soit
n foyer au charbon pour deux récipients, soit d'une
uche d'hydrogène enflammé produit par la soufflerie
hydrique.

Ce dernier mode offre comme avantage une certaine
nomie dans les équivalents calorifiques et surtout,
qui est plus appréciable encore, la facilité d'augmen-

ter ou de diminuer instantanément la température selon les besoins et la marche de l'opération.

Nous avons annoncé une température de 4 à 500 degrés ; la vapeur à 200 degrés est, il est vrai, parfaitement suffisante à la dessiccation de la pierre à plâtre mais il est rationnel de la faire pénétrer dans les récipients de 4 à 500 degrés, car son abaissement de température dans l'action de vaporisation qui a lieu pour l dessiccation est portée à plus de moitié, ce dont on peu se rendre compte facilement en plaçant un thermomètr au départ de la vapeur, c'est-à-dire après son effet utile

Ajoutons ici, afin de mieux faire saisir l'ensemble d cet appareil, que l'alimentation du générateur se fait l'aide d'une pompe dite d'équation, c'est-à-dire à pressio constante du liquide. Cette pompe porte des tubes appropriés à l'élévation de température du liquide destin à l'alimentation du générateur, en sorte que la vapeu ayant servi à la condensation, prise à son échappemen passe dans la pompe d'équation tubulaire et se dépouill complètement de la chaleur entraînée inutilement a profit du liquide alimentaire.

Pour que la cuisson soit véritablement continue, nou employons six cornues, dont deux sont en chargemen deux en fonction et deux en déchargement. Chaque cornue contient 3 hect. 1/2, soit, pour les deux, 7 hectolitres, et l'opération durant une demi-heure au plus, o obtient 14 hectolitres à l'heure, soit 33 mètres cubes e 24 heures ou 10,000 mètres cubes par an pour une fabrication de 300 jours.

Voici le prix de revient de la cuisson par jour :

Charbon 800 kilog., soit, au plus haut.	24 fr.
Chauffeurs.	10
2 manœuvres pour 24 heures.	16
	50 fr.
Soit, pour un mètre cube.	1 fr. 50
Frais généraux par mètre.	» 40
Prix de la cuisson d'un mètre.	1 fr. 90

l est bien entendu que pour une production plus ınde, les frais diminueraient de manière à rendre l'é-ıomie beaucoup plus sensible. On pourrait facilement re 3 fournées à l'heure au lieu de deux, ce qui don-rait 50 mètres cubes par 24 heures et réduirait le coût fr. 50 par mètre cube ou 15 centimes l'hectolitre.

Description du générateur de M. Testud de Beauregard.

La figure 64 représente une section verticale de la ıudière qui serait nécessaire pour une machine de la ce de 4 chevaux, au douzième de sa grandeur natu-le, tandis que les côtés s'appliquent à un générateur ur une machine de la force de 20 chevaux.

)n voit que l'appareil consiste en trois capacités insé-s les unes dans les autres. La plus inférieure, le va-risateur A ne renferme pas d'eau, mais il reçoit con-uellement par les deux tubes B et B' deux filets d'eau i, sur le fond chauffé à 280°, est transformée en vapeur chauffée. Une autre capacité C en forme de cloche est ıversée sur cette première ; elle contraint la vapeur à lescendre à l'extérieur des parois du vaporisateur A, à remonter le long de celles de la capacité la plus ex-ieure DD, où elle est encore chauffée par les gaz chauds foyer qui la lèchent extérieurement, ce qui concourt a conservation des parois métalliques, puisque celles-chauffées des deux côtés, n'éprouvent pas ces dilata-ns inégales qui tendent à les détruire.

.a partie inférieure E de la chaudière extérieure est nplie d'un alliage d'étain et de plomb, maintenu à l'é- de fusion.

Sur le fond du bain métallique est un agitateur F au yen duquel le chauffeur peut reconnaître si l'étain est fusion. Il y a en *a*, comme appareil de sûreté, un sif- d'alarme qui résonne quand la température devient p élevée. Le levier à contre-poids de ce sifflet est main-

tenu abaissé par une tige G, tant que le bouchon en composition qui se trouve à l'extrémité reste, suivant le degré de chaleur voulu, à l'état solide; mais dès que ce bouchon entre en fusion, le contre-poids ouvre la soupape du sifflet d'alarme.

A l'aide de ce système de génération de la vapeur, on recueille les avantages principaux que voici :

On n'a besoin que d'une chaudière et d'un foyer plus petit que pour les générateurs ordinaires. Cette chaudière n'occupe que le sixième, et le foyer le quart de ceux d'un système ordinaire. La surface de chauffe est d'environ 1/18 plus grande, ce qui, en même temps présente une grande sécurité contre les explosions.

Il ne faut, comme eau d'alimentation, que le tiers de celle dépensée par les machines à vapeur actuelles. Le cylindre à vapeur ne peut jamais être chargé d'eau de primage, et pour la mise en train de la machine, il ne faut que la moitié du temps qu'on emploie pour une chaudière ordinaire (P. Kaüffer, *Technologiste*, tome XXIII p. 485).

Pulvérisation du plâtre.

169. Le plâtre doit être employé aussitôt qu'il est cuit sans quoi il perd de sa qualité. Si l'on était obligé de faire venir le plâtre d'un pays lointain, il vaudrait mieux qu'il fût expédié en pierres et cuit dans l'endroit où on devrait l'employer. Mais pour le transporter à de petites distances, il suffit de l'enfermer dans des sacs.

Pour employer le plâtre qui a été cuit, il faut qu'il soit réduit en poudre. Cette poudre, pour le plâtre à bâtir, ne doit pas être trop fine : le broyage trop parfait lui ferait perdre une partie de ses propriétés plastiques.

On emploie différents moyens pour pulvériser le plâtre, cuit ou cru, suivant les circonstances : on le broie au moyen de moulins analogues aux moulins à café, ou mieux de meules verticales en pierre roulant dans une

ıge également en pierre, et au centre de laquelle on spose un crible qui permet au plâtre de tomber tout éparé, et sans augmentation de main-d'œuvre, dans s magasins.

Quand on n'a pas de machine pour la pulvérisation du âtre, elle se fait à bras d'homme avec des battes fer-es. Un homme fort peut battre de cette manière, pen-ınt dix heures, vingt à vingt-cinq boisseaux, y compris temps de recharger l'aire et de tamiser.

Un autre moyen consiste à casser le plâtre avec la batte rrée, en petits morceaux d'environ 40 centimètres *bes*, et de les broyer ensuite au moyen d'une machine ue par un cheval, et composée d'une ou de deux roues ı meules verticales en pierre dure, fixées à un arbre rtical de 2 mètres de hauteur, qui tourne à pivot par s deux extrémités. Ces meules, qui se meuvent circu-irement sur une aire à rebords, sont légèrement incli-es du centre à la circonférence, et traversées par leur ntre d'une flèche ou bras de levier, long de 2 à 3 mè-es, auquel on attache le cheval. Un râteau en fer, fixé à ırbre vertical, et large de 18 centimètres, sert à remuer plâtre à mesure qu'on le pulvérise.

Le produit de ces machines, mues pendant dix heures ır deux chevaux qui se relaient, peut s'élever à 80 oisseaux, mesure susdite. Avec un cheval et une seule ue, il s'élève au plus à 40 ou 50 boisseaux par jour.

Dans le Bas-Rhin, on se sert de machines mues par au. On les construit de trois manières différentes. La emière ne diffère de celle que nous venons de décrire ı'en ce que l'arbre vertical, armé d'une lanterne, est û par une roue dentée que l'eau fait tourner.

La deuxième manière diffère de la première en ce que s roues, au lieu d'être verticales, sont opposées horizon-lement l'une sur l'autre, comme les meules à moudre s grains.

La troisième pulvérisation s'opère au moyen de plu-eurs foulons qu'un treuil denticulé, adapté à un cour-

sier, fait hausser et baisser dans une auge où se jette plâtre. Au-dessous de cette auge se trouve un tamis do le mouvement imprimé par la machine donne le plât le plus fin. Les produits de cette machine s'élèvent c 200 à 300 boisseaux par jour. Pour plus de détails, c trouvera la description de ces machines, accompagn d'une planche, dans le 47e n° du *Bulletin de la Socié d'encouragement*, tome I.

Gâchage du plâtre.

170. Pour *gâcher* le plâtre à Paris, on commence p mettre l'eau dans l'auget qui doit servir à la manipul tion; on ajoute ensuite le plâtre, en le semant jusqu ce qu'il atteigne presque la surface de l'eau; on atter un peu qu'il commence à prendre, et alors on le rem avec une truelle en cuivre (une truelle en fer s'oxydera trop rapidement à cause de l'acide sulfurique) po qu'il forme une pâte uniforme. Il faut environ auta d'eau que de plâtre. Plus le plâtre est fort, plus il fa le gâcher promptement, afin qu'on ait le temps de l'en ployer avant qu'il commence à durcir. Chaque fois q l'on gâche, il faut nettoyer l'auget avec soin; c'est qui se fait avec la truelle, dont les arêtes doivent êt bien vives.

On met plus ou moins d'eau pour gâcher le plâtre, raison des ouvrages que l'on a à faire; si l'on a beso de toute sa force, on n'y met que la proportion d'e nécessaire pour donner à la pâte la consistance conv nable pour son emploi; c'est ce que les maçons appe lent *gâcher serré*. Lorsqu'on y met plus d'eau, ce qui dit *gâcher clair*, il donne plus de temps pour l'employ Pour faire des enduits, on le gâche encore plus clai Enfin, lorsqu'il s'agit de remplir des vides où la main la truelle ne peuvent atteindre, on forme un *coulis*, q est assez clair pour être versé par des godets placés manière à pouvoir diriger le coulis dans les cavités qu

ıit remplir. Le plâtre ainsi délayé ne peut pas former ı corps bien solide; aussi ne doit-on l'employer que ıand les vides qu'il doit remplir n'ont pas de charge à utenir. (A. Curtel.)

Nous reviendrons sur ce sujet dans le *Manuel du ıçon.*

Prix de revient du plâtre.

171. Voici, d'après M. Curtel, le compte de fabrication ı plâtre pour une production de 7,200 muids (1) par ı, soit 300 jours de travail et 240 muids par jour :

Combustible.	28.325
Main-d'œuvre.	20.400
Transport (voitures, chevaux, hommes).	13.154
Sacs et entretien, etc.	900
Location de la carrière.	6.000
Intérêt.	3.000
Pour 7.200 muids.	71.779 fr.

Un muid coûte donc 10 fr. On le vend 16 fr. ou, déducı)n faite des droits, 12 fr. 35 c.

Nous n'avons pas besoin de faire observer que ces ıiffres ne peuvent rien avoir d'absolu et qu'ils sont suıts à révision.

Extraction de l'acide sulfurique du plâtre.

172. Nous allons parler d'une chose qui s'éloigne bien ı notre sujet, mais qui cependant peut ne pas être déıurvue d'intérêt pour les propriétaires de carrières à âtre. Il s'agit de l'extraction de l'acide sulfurique du âtre.

(1) Le muid se compose de trois voies; la voie, de douze sacs; le ı, de deux boisseaux; le boisseau contient treize litres. Par conséıent (13 × 2 × 12 × 3) la voie égale 936 litres. Ce n'est pas bien ın d'un mètre cube, ou mille litres.

C'est encore une idée qui n'est pas neuve et qui, lo
de réussir, n'a fait que ruiner ceux qui jusqu'à présent o
voulu la mettre en pratique.

On comprend bien comment on se trouve entraî
dans la recherche d'un moyen d'extraire l'acide sulfur
que du plâtre, quand on réfléchit que 1075 de gypse re
ferment 500 d'acide sulfurique pur, ou 612,5 d'acide su
furique à 66°, et quand on pense que la Sicile pourra
cesser de mettre à notre disposition le soufre qui, co
curremment avec les pyrites, sert aujourd'hui à la fabr
cation de cet acide.

Il serait d'ailleurs d'un grand intérêt général de tro
ver une nouvelle source de cet agent chimique, duqu
dépend presque toute l'industrie moderne. L'acide su
furique est aussi utile, aussi important, aussi indispe
sable aujourd'hui comme agent chimique, que la m
chine à vapeur, comme agent mécanique. Aussi, cel
qui réussirait à opérer, dans des conditions avantage
ses, l'extraction de l'acide sulfurique du plâtre, méri
rait-il honneur et profit.

Différents procédés ont été imaginés dans ce but. Vo
celui qui a été proposé par M. Shank et qui, dit M. Lou
Figuier, paraît se recommander par une grande facil
d'exécution :

« Ce procédé est basé sur deux réactions successive
la décomposition du sulfate de chaux par le chlorure
plomb, et celle du sulfate de plomb ainsi formé par l'
cide chlorhydrique. On prend d'abord une grande cuv
plus longue que haute, construite soit en plomb, soit
briques, soit en toute autre matière inattaquable par l
acides; dans cette cuve, on met 86 parties en poids
sulfate de chaux naturel, 68 parties de sulfate de cha
calciné et 140 parties de chlorure de plomb. On ajou
alors une grande quantité d'eau chaude, puis le tout
mêlé et bien agité. Une réaction a lieu immédiatemen
le sulfate de plomb se précipite et le chlorure de calciu
se dissout dans l'eau qui surnage; on continue d'agit

;qu'à ce que la liqueur ne contienne plus de plomb, ce nt on s'assure par les réactifs ordinaires. On décante ›rs et on lave le précipité blanc de sulfate de plomb i reste dans la cuve.

« En plaçant ensuite ce sulfate de plomb dans une tre cuve, on le fait bouillir avec de l'acide chlorhy-ique; par le refroidissement, le chlorure de plomb rmé se précipite, tandis que l'eau qui surnage n'est plus l'une solution d'acide sulfurique. Lorsqu'elle est froide, décante cette liqueur acide et on l'évapore jusqu'au gré de concentration exigé par le commerce pour l'a-le sulfurique. Quant au chlorure de plomb resté dans cuve, on le lave à l'eau froide pour enlever la plus ande partie de l'acide sulfurique qu'il retient, puis on ajoute une nouvelle quantité de sulfate de chaux pour commencer le traitement précédemment décrit, de telle rte que le chlorure de plomb employé est toujours le ême et n'a pas besoin d'être renouvelé, sauf les pertes séparables des diverses manipulations.

« On voit que l'acide chlorhydrique est l'agent essentiel cette décomposition. Si l'on réfléchit que l'acide chlor-drique se produit en quantités immenses dans les briques de soude artificielle, que cet acide est presque ns valeur, et que les fabriques de soude en laissent rdre la plus grande partie, ce qui a de graves incon-nients pour les voisins, et amène souvent la nécessité leur payer de fortes indemnités, on comprendra que procédé de M. Shank mérite toute l'attention des chi-istes et des industriels, puisque, tout en permettant extraire l'acide sulfurique du plâtre, il donne le moyen tirer un parti avantageux de l'acide chlorhydrique, nt la production n'a été jusqu'ici qu'un fléau pour les bricants. »

Ce n'est pas ici que nous pouvons nous occuper de tous s procédés mis en avant pour l'extraction de l'acide lfurique du plâtre. J'ai voulu seulement appeler l'at-ntion de mes lecteurs sur ce sujet.

Je terminerai en rappelant que le plâtre peut se fond à un certain degré de chaleur, et en disant qu'il ne décompose pas par la plus forte élévation de températur mais que, si on le traite par la silice, il se forme du s licate de chaux, tandis que l'acide sulfurique, dever libre, se décompose et donne de l'acide sulfureux et (l'oxygène, que l'on peut recombiner en les faisant pass sur de l'éponge de platine chauffée au rouge. Cette épon agit par sa force catalitique, elle ne subit aucun chai gement, n'augmente ni ne diminue de poids, et cependa cette force catalitique ne tarde pas à s'émousser, comn l'a éprouvé M. Kuhlmann dans des essais sur la fabric tion de l'acide sulfurique, auxquels il a dû renoncer.

Plâtre fin.

173. Le plâtre des mouleurs, ou plâtre fin, se fait av le sulfate de chaux pur. Il est plus blanc et en poud plus fine que le plâtre qui sert aux constructions.

La pierre qui produit le plâtre fin doit se choisir av soin. On la prend dans les lits de pierre tendre qui trouvent entre les bancs de pierre dure. En cassant que ques morceaux de pierres à plâtre dans la carrière, c apprend à juger celle qui est meilleure, et qui se nomm *roussette.*

On ne doit calciner cette pierre que quelques mois apr son extraction de la carrière.

Quand la pierre est suffisamment sèche, on la casse e morceaux de la grosseur d'à peu près un œuf avant d la faire cuire.

Cette cuisson s'opère dans un four de boulanger, chauf comme pour cuire le pain. Après avoir retiré le feu, quand on a bien balayé le four, on dispose la pierre pa couches de 12 à 15 centimètres d'épaisseur. La cuisso dure douze heures. Enfin, on le pulvérise.

Le plâtre écrasé au moulin à meules verticales vau mieux que le plâtre battu à bras; mais il est préférabl

le broyer dans un mortier avec un fort pilon, c'est moyen de lui conserver sa fleur et de le rendre plus tueux. Il ne faut pas qu'il absorbe d'humidité pendant te opération.

)uand le plâtre est pilé, on le passe au tamis de crin ıs ou moins serré. Si on veut l'avoir plus fin, on le sse au tamis de soie. Les ouvriers disent *passer au pas crin, au pas de soie.*

)n obtient ainsi du plâtre bien calciné, gras, bien nc, et qui réunit toutes les qualités exigées pour le ulage.

Si, au lieu de cuire le plâtre de mouleur dans un four boulanger, on appliquait à cette opération le système M. Testud de Beauregard, dont il a été parlé, il est obable qu'on obtiendrait plus avantageusement un proit d'une qualité remarquable.

Peut-être encore aurait-on avantage à adopter un four ornues, comme celui de M. Brisson, dont il a aussi été rlé plus haut.

Plâtre durci ou aluné.

174. Depuis plusieurs années, on prépare, au moyen plâtre, une nouvelle substance plastique qui, tout en nservant une partie des propriétés de la matière preère, en acquiert de nouvelles. Le plâtre aluné se rapoche du marbre par le poli, et il résiste très-bien aux tempéries de l'atmosphère. Voici en peu de mots sa brication, qui a été, en France, l'objet d'un brevet.

On commence à cuire dans un four à réverbère, chauffé l'air chaud, le plâtre que l'on veut aluner ; on a eu in de choisir pour cela les pierres les plus belles et les us blanches. Lorsque la cuisson est terminée, on laisse froidir le plâtre, puis on le place dans de grandes isses en bois à claire-voie, que l'on plonge dans un bain eau tenant en dissolution 10 pour 100 d'alun. Après ıe immersion de quelques minutes, on retire la caisse,

on la laisse égoutter quelque temps au-dessus du bain puis on la vide sur une aire préparée pour le recevoir Ce plâtre aluné est porté dans le four, et on le recuit à une température beaucoup plus élevée que la première fois, et qui doit être poussée jusqu'au rouge. Après l'avoir laissé refroidir, on le pulvérise dans un moulin en fonte, puis on le blute.

Récemment, on a perfectionné ce procédé de fabrication d'une manière remarquable. On mélange intimement le plâtre avec de l'alun en poudre, puis on chauffe une seule fois; on voit par là qu'on obtient une grande économie de combustible et de main-d'œuvre.

CHAPITRE XI.

Exploitation des carrières.

175. Ordinairement les chaufourniers et les fabricants de plâtre sont propriétaires ou locataires des carrières d'où ils tirent la pierre qu'ils font cuire.

Les carrières s'exploitent par galeries souterraines ou à ciel ouvert. Ces exploitations sont régies par une loi dont on a extrait ce qui suit :

Extrait de la loi du 22 *avril* 1810, *sur les mines, minières et carrières* (1).

Art. 1er. Les masses de substances minérales ou fossiles renfermées dans le sein de la terre, ou existant à la surface, sont classées, relativement aux règles de

(1) En Angleterre, les mines font partie de la propriété de la surface, mais en France et sur tout le continent, elles constituent, dans certains cas, une propriété nouvelle, tout-à-fait indépendante de celle de la surface, et dont l'exploitation ne peut avoir lieu qu'en vertu d'un acte émané du gouvernement, et qui s'accorde à ceux qui réunissent certaines conditions, propriétaires ou non de la surface.

ploitation de chacune d'elles, sous les trois qualifiions de mines, minières et carrières.

rt. 2. Seront considérés comme mines celles connues ir contenir en filons, en couches ou amas, de l'or, de gent, etc. (toutes les matières métalliques), du soufre, charbon de terre, du bois fossile, des bitumes, de un et des sulfates à base métallique.

rt. 3. Les minières comprennent les minerais de fer s d'alluvion, les terres pyriteuses propres à être contíes en sulfate de fer, les terres alumineuses et les rbes.

rt. 4. Les carrières renferment les ardoises, les grès, pierres à bâtir et autres, marbres, granits, pierres à ux, pierres à plâtre, les pouzzolanes, les trass, les altes, les laves, les marnes, craies, sables, pierres à il, argiles, kaolins, terres à foulon, terres à potasse, substances terreuses et les cailloux de toute nature, terres pyriteuses regardées comme engrais, le tout loité à ciel ouvert ou avec des galeries souterraines.

. . . .

rt. 57. L'exploitation des minières est assujettie à règles spéciales. Elle ne peut avoir lieu sans permisn.

rt. 58. La permission détermine les limites de l'exitation et les règles à observer sous les rapports de eté et de salubrité publiques.

. . . .

rt. 71. L'exploitation des terres pyriteuses et alumises sera assujettie aux formalités prescrites par les icles 57 et 58, soit qu'elle ait lieu par les propriétaires fonds, soit par d'autres individus qui, à défaut par x-ci d'exploiter, en auraient obtenu la permission.

rt. 72. Si l'exploitation a lieu par des non-propriéres, ils seront assujettis, en faveur des propriétaires, ne indemnité qui sera réglée de gré à gré ou par exts.

. . . .

Art. 81. L'exploitation des carrières à ciel ouvert a lie
sans permission, sous la simple surveillance de la polic
et avec l'observation des lois et règlements généraux c
locaux.

Art 82. Quand l'exploitation a lieu par galeries soute
raines, elle est soumise à la surveillance de l'administr
tion, comme il est dit au titre V (1).

Art. 83. Les tourbes ne peuvent être exploitées que p
le propriétaire du terrain, ou de son consentement.

Art. 84. Tout propriétaire qui voudra exploiter d
tourbes dans son terrain ne pourra le faire, à peine
100 fr. d'amende, sans en avoir préalablement fait la d
claration à la sous-préfecture et obtenu l'autorisation.

Art. 85. Un règlement d'administration publique d
terminera la direction générale des travaux d'extracti
dans le terrain où sont situées les tourbes, celles des r
goles de dessèchement, enfin toutes les mesures propr
à faciliter l'écoulement des eaux dans les vallées, et l'a
terrissement des entailles tourbées.

Art. 86. Les propriétaires exploitants, soit particulie

(1) TITRE V. *De l'exercice de la surveillance sur les mines par l'administration.*

Art. 47. Les ingénieurs des mines exerceront, sous les ordres
ministre des travaux publics et des préfets, une surveillance de pol
pour la conservation des édifices et la sûreté du sol.

Art. 48. Ils observeront la manière dont l'exploitation sera fai
soit pour éclairer les propriétaires sur ses inconvénients ou son amél
ration, soit pour avertir l'administration des vices, abus ou dang
qui s'y trouveraient.

Art. 49. Si l'exploitation est restreinte ou suspendue de mani
à inquiéter la sûreté publique ou les besoins des consommateurs,
préfets, après avoir entendu les propriétaires, en rendront compte
ministre des travaux publics pour y être pourvu ainsi qu'il app
tiendra.

Art. 50. Si l'exploitation compromet la sûreté publique, la cons
vation des puits, la solidité des travaux, la sûreté des ouvriers mine
ou des habitations de la surface, il y sera pourvu par le préfet, ai
qu'il est pratiqué en matière de grande voirie et selon les lois.

communautés d'habitants, soit établissements publics,
t tenus de s'y conformer, à peine d'être contraints à
ser leurs travaux.

TITRE IX.

Des expertises.

rt 87. Dans tous les cas prévus par la présente loi et
res naissant des circonstances, où il y aura lieu à ex-
ise, les dispositions du titre XIV du Code de procé-
e civile, articles 303 et 323, seront exécutées.
rt. 88. Les experts seront pris parmi les ingénieurs
mines, ou parmi les hommes notables et expérimen-
dans le fait des mines et de leurs travaux.
rt. 89. Le procureur du roi sera toujours entendu, et
nera ses conclusions sur le rapport des experts.
rt. 90. Nul plan ne sera admis comme pièce probante
s une contestation, s'il n'a été levé ou vérifié par un
énieur des mines. La vérification des plans sera tou-
rs gratuite.
rt. 91. Les frais et vacations des experts seront réglés
rrêtés, selon les cas, par les tribunaux; il en sera de
ne des honoraires qui pourront appartenir aux ingé-
irs des mines; le tout suivant le tarif qui sera fait par
règlement d'administration publique.
outefois, il n'y aura pas lieu à honoraires pour les
énieurs des mines, lorsque les opérations auront été
es, soit dans l'intérêt de l'administration, soit à raison
a surveillance et de la police publiques.
rt. 92. La consignation des sommes jugées nécessaires
r subvenir aux frais d'expertise pourra être ordon-
par le tribunal contre celui qui poursuivra l'exper-
.

. . . .

a loi du 21 avril 1810, dont il vient d'être donné un
rait de ce qui peut intéresser l'industrie dont nous

nous occupons, a été complétée par la « loi du 27 avr 1838, relative à l'assèchement et à l'exploitation des mines, » qui, lorsque plusieurs mines situées dans des concessions différentes se trouvent atteintes ou menacé d'une inondation commune qui serait de nature à compromettre leur existence, la sûreté publique ou les besoins des consommateurs, donne au gouvernement pouvoir d'obliger les concessionnaires de ces mines exécuter, en commun et à leurs frais, les travaux néce saires, soit pour assécher tout ou partie des mines ino dées, soit pour arrêter les progrès de l'inondation.

Recherche et exploitation des carrières.

176. Les carrières de pierres à chaux et de pierres plâtre ne donnent pas lieu à des recherches importante comme celles qui se font pour les mines. Elles se borne tout au plus à quelques trous opérés avec de petit sondes, dont les formes sont appropriées au terrain, à quelques fouilles.

La pierre meulière, espèce de concrétion vitreuse, très-commune ; il s'en trouve dans toutes les contrées France ; elle est souvent à fleur du sol et dans les ban sablonneux qui reposent presque toujours sur un ba de glaise, à quelques mètres de profondeur. On la ti par morceaux d'inégale grandeur, que l'on est obligé diviser avec des masses pour la facilité de l'extractio ou que l'on réserve entiers pour l'ornement des jardi pittoresques.

Mais les pierres de taille, l'ardoise et les autres ma riaux de construction, se trouvent en *couches* dont assises sont parallèles. Ces couches épaisses et d'u grande régularité prennent le nom de *bancs*. Les fa supérieure et inférieure d'une couche, qui en mesure la puissance, se nomment *toit* et *mur*.

Si l'on se trouvait dans des conditions exceptionnel relativement à la recherche ou à l'exploitation d'une ca

ère, il faudrait consulter les traités spéciaux de *Sondage* d'*Exploitation des Mines*, qui font partie de l'*Encyclodie-Roret*.

Nous nous bornerons ici à parler des carrières de erres calcaires, de l'abattage des roches dures, et à udier, d'une manière générale, la question des moteurs celle des transports, en vue des applications que peunt en faire les carriers, les chaufourniers et les plâers.

Ceux de nos lecteurs qui auraient intérêt à connaître position dans le sol des différents matériaux de conuction qui s'y rencontrent, devraient consulter le *unuel de Géologie*, avec les planches et les descriptions bliées par MM. Huot et D'Orbigny, ou mieux « les *tions géologiques* » qui se trouvent, avec une carte ologique de France, dans le premier volume du rerquable ouvrage de M. Chateau, intitulé « *Technologie Bâtiment*. »

Carrières de pierres calcaires.

177. Les différentes espèces de calcaires se rencontrent ujours en bancs ou en couches parallèles d'une épaisur variable; la même carrière présente ordinairement isieurs de ces assises superposées, et l'on remarque 'elles ont presque toujours des caractères, des couleurs des contextures différentes; souvent même il n'y a 'un seul banc qui soit susceptible de fournir de belles isses, les autres étant ou trop minces ou trop faibleent agrégées, ou traversées d'une infinité de fissures i les divisent en blocailles ou en moellons.

Comme ces différentes couches ne sont point liées les es avec les autres, qu'elles se séparent au contraire ec facilité, et qu'elles conservent leur parallélisme sur assez grand développement, on conçoit que quand on parvenu à découvrir le banc qu'on veut exploiter, il vient aisé d'en extraire des blocs d'une épaisseur tou-

jours égale, et dont les dimensions sont d'autant plu étendues en longueur et en largeur, que la pierre es plus homogène et plus adhérente dans ses parties con stituantes. On arrive, à l'aide du pic, des coins et de leviers, à détacher les blocs de la couche, et si l'on a bie préparé la masse, qu'elle soit coupée à ses deux extré mités, et parfaitement découverte en dessus, elle s détache facilement sans se briser : on parvient à opére cette séparation en traçant sur le derrière du banc, et plus près possible de la montagne, une rainure profond dans laquelle on insère des coins doublés de tôle, et su lesquels on frappe alternativement, en allant et revenan d'un bout à l'autre de la rangée.

On appelle la pierre de bas ou de haut appareil, sui vant qu'elle provient d'un banc mince ou d'un ban épais.

Au moment où les pierres sortent de leur carrière, elle sont plus tendres que quand elles ont séjourné quelque années en plein air, parce qu'elles sont pénétrées d'hu midité qu'elles n'abandonnent qu'à la longue. La présenc de cette humidité, comme nous l'avons vu précédem ment, est très-favorable à la transformation de la pierr en chaux. Nous verrons dans le *Manuel du Maçon* le inconvénients qu'elle présenterait aux matériaux à bâti

Exploitation des carrières.

178. Il y a deux procédés d'exploitation des carrière suivant la nature des couches que l'on veut aller cherche

Exploitation à *ciel ouvert*, lorsque les couches vienne affleurer à la surface, ou en sont très-peu éloignées, o bien exploitation *souterraine*, lorsque les couches sont une certaine profondeur.

En général, la plus grande partie des exploitations d pierres calcaires, soit pour construction, soit pour fabr quer la chaux ou le plâtre, sont des exploitations à ci ouvert.

Ces travaux sont conduits par tranchées successives, lant en gradins, ce qui permet de pouvoir augmenter nombre des travailleurs sur un même front de taille. s gradins s'avancent successivement, en pratiquant à base de chacun d'eux une rigole dite sous-cave, à l'aide la pioche ou du pic, et en attaquant le sommet du adin à l'aide de coins enfoncés en ligne de distance en stance, réglée d'après le plus ou moins de dureté du banc. Les proportions à donner aux gradins dépendent évimment de la nature du terrain, de sa consistance et de dureté. Souvent, pour faire avancer le travail plus te, on fait dans les gradins de petites galeries reliées tre elles par un petit couloir parallèle au fond du adin, et isolant de grosses masses que l'on détache par mine; seulement dans ce système, le bloc détaché se vise en fragments qui éboulent.

Lorsque l'on veut obtenir des gros blocs de dimensions terminées, dont la hauteur correspondra par exemple la hauteur naturelle du banc, on opère comme nous vons déjà dit. Ayant mis à nu la base supérieure du oc, on dispose des coins de 0m.40 en 0m.40 environ, i'on enfonce progressivement et qui déterminent le déchement du bloc.

Dans certaines carrières, on modifie ce procédé. On praque dans le sens de la longueur, une rigole de 0m.30 profondeur, au fond de laquelle on pratique des trous mine espacés de 0m.40 entre eux, on ne charge pas s trous. On déchausse par dessous, puis on met des ins, qui ne portent pas directement sur le bloc à détaer et qui en sont séparés par des plaques de fer.

Voici comment l'on peut concevoir l'organisation d'un mblable chantier. Il y a des piocheurs, des chargeurs des brouetteurs. Si l'on désigne par t le temps mis par s piocheurs pour enlever un certain volume, t' le temps is par les chargeurs pour enlever les déblais qui en roviennent, $\frac{t}{t'}$ est le rapport qui doit exister entre le

nombre des piocheurs et des chargeurs. D'une autre part il ne faut pas pour les brouetteurs avoir des relais su périeurs à 30 mètres, et il faudra avoir un nombre d brouetteurs égal à celui des chargeurs multiplié par l nombre de relais.

En général, dans la plupart des exploitations, qui or pris une certaine extension, l'intervention de machine quelconques qui facilitent le travail, viennent change les proportions que nous venons d'indiquer.

Ce mode d'exploitation, comme on le comprend par s description, n'offre en lui-même aucune difficulté; la seu partie qui peut donner lieu à la recherche de combi naisons plus ou moins ingénieuses, consiste dans l'enlè vement et le transport des déblais, lorsque l'exploitatio ayant déjà une certaine existence, elle donne lieu à formation d'une tranchée large et profonde. Nous ve rons tout à l'heure la description des procédés employ dans les cas de ce genre.·

179. Mais l'exploitation souterraine n'est pas aussi sim ple. Il peut se présenter trois cas :

1° Les couches viennent montrer leurs têtes sur l'e carpement d'une vallée;

2° Elles sont situées sur un plateau d'une plus moins grande étendue;

3° Enfin, elles peuvent être parallèles au flanc d'u vallée.

« *Premier cas.* — Le moyen le plus simple, dans cas où les couches viennent montrer leurs têtes sur l' carpement d'une vallée, consiste à percer dans le se de la direction des couches, soit horizontalement, soit descendant ou en montant, une galerie dite de *directi* ou *d'allongement*, dont les dimensions soient assez gra des pour permettre le service des transports; puis, ap avoir poussé cette galerie sur une étendue assez consi rable, à se retourner d'équerre à droite et à gauche po enlever les couches que l'on veut exploiter. Pour cela, commence d'abord par attaquer celle qui paraît la mo

ide, et on la détruit par pièces et morceaux. Lorsque, à suite de cette opération, les couches supérieures se trount desserrées, on les détache elles-mêmes par grandes rties au moyen de coins et de poudre, et on les exit de la carrière pour les transporter au chantier. On aque ensuite de la même manière les couches inféures, et bientôt on a formé au sein de la carrière une avation ou chambre que l'on peut agrandir indéfinint, en ayant soin de prendre quelques précautions ır en soutenir le plafond ou *toit*, car rarement ce plad présente une solidité suffisante pour pouvoir se intenir sans se rompre et s'affaisser au-delà d'une ndué assez restreinte. C'est pourquoi, pour prévenir accident, toujours grave, on est obligé d'étançonner oit à l'aide de grosses pièces de charpentes, ou, ce qui ıt mieux et se pratique le plus souvent, au moyen de iers en pierre, qu'on laisse subsister avec intention milieu du massif en exploitation. La disposition et pacement de ces piliers varient, on le conçoit, avec degré de solidité du toit et des accidents qu'il peut senter.

Les parties abandonnées sont assez souvent remplies c des déblais provenant de celles dont l'exploitation continue.

Deuxième cas. — S'il s'agissait maintenant d'exploiter couches situées profondément sous un plateau étendu, commencerait d'abord par creuser un puits de mare à venir atteindre les couches au point le plus bas uel on veut pousser l'exploitation; puis, partant de puits, on ferait une galerie de direction, puis une mbre, et l'on continuerait l'exploitation de la même nière que dans le cas précédent.

Troisième cas. — Enfin, s'il s'agissait d'exploiter des ches parallèles au flanc d'une vallée, soit qu'elles sent la même inclinaison que ce flanc, soit que cette inaison fût en sens contraire, on irait d'abord recoucelles que l'on veut exploiter par une galerie *à tra-*

vers bancs ; puis on dirigerait à droite et à gauche d excavations dans l'épaisseur de ces couches en opéra comme précédemment (1). »

Abattage des roches dures au moyen de la pointerolle, de la poudre ou du feu.

180. La première période d'une exploitation à ciel o vert, donne lieu ordinairement au déblaiement d'u certaine épaisseur de terre qui recouvre la partie sup rieure de la couche. Ce travail se fait à la pioche et à pelle. Nous recommandons d'employer de préférence pelle dite anglaise, qui commence d'ailleurs à être chois presqu'exclusivement. C'est celle qui a un fer termi suivant un arc de cercle, et emmanché sur un manc courbé, de telle sorte que l'homme n'a pas besoin de courber ou au moins très-peu pour faire son trava Lorsqu'il s'agit de terres meubles, on admet qu'un o vrier peut charger 12 à 15 mètres cubes par jour.

Lorsque la terre exige un piochage préalable, on qu'il faut un homme et demi à la fouille, c'est-à-d qu'à deux chargeurs il faudra joindre un piocheur.

Les entailles à pratiquer dans les roches se fon l'aide du pic, outil bien connu, qui sert, au moyen de petite masse qu'il porte en talon, à casser les morcea venus trop gros à l'abattage, pour faciliter le char ment.

La quantité d'ouvrage exécutée par un ouvrier, pend de la nature de la roche qu'il attaque. Dans les ches d'une dureté moyenne, il faut faire 7 à 8 mè d'entaille par jour.

Lorsque l'on a affaire à des couches argileuses, on ploie souvent un pic spécial à long manche appelé *r laine.*

181. L'abattage des roches dures ne se faisait anci nement qu'au moyen de la *pointerolle* (fig. 65), qui

(1) *Technologie du Bâtiment*, par M. Théodore Chateau.

ne espèce de coin à manche sur la tête duquel on rappe avec un marteau; maintenant la pointerolle ne ert plus que quand la roche a déjà été fendue par des oups de mine.

Pour faire sauter les roches au moyen de la poudre, n pratique un trou de 5 à 6 centimètres de diamètre ans la roche, au moyen d'un *fleuret*, ou petit trépan n fer aciéré (figures 67 et 68), que l'on fait tourner, n frappant à chaque tour sur la tête avec un marteau ig. 66).

De temps en temps, on jette un peu d'eau dans le trou our empêcher le fleuret de se détremper. On retire la oue avec une curette en fer (fig. 70).

Souvent le trou est fait par un seul homme. Après avoir bien nettoyé, on le remplit au tiers environ de oudre enveloppée dans du papier (1). Il faut avoir soin, uand la roche est humide, de se servir d'une enveloppe oudronnée. On pousse la cartouche au fond du trou vec un *bourroir* (fig. 71). C'est une tige ronde en fer, ui porte sur le côté une cannelure servant au passage e l'épinglette (fig. 69). Celle-ci est une espèce d'aiuille en fer ou en cuivre qu'on enfonce jusqu'au milieu e la cartouche et qui sert à réserver le canal pour l'aorce.

Par-dessus la cartouche, on tasse de la terre glaise ien pure jusqu'à ce que le trou en soit rempli, en ayant oin de faire tourner de temps en temps l'épinglette sur le-même, pour pouvoir la retirer plus facilement.

L'amorçage se fait souvent au moyen d'un fétu de aille sans nœud, fendu dans sa longueur et rempli de oudre fine. Après l'avoir introduit dans le canal laissé ar l'épinglette, on y met le feu au moyen d'une mèche oufrée, qui laisse le temps à l'ouvrier de s'écarter et de e mettre à l'abri.

(1) La poudre à mine est composée de : salpêtre, 65; charbon, 15; oufre, 20.

Il faut avoir soin de ne se servir pour le bourrage des trous que de terre exempte de quartz, et d'épinglettes et de bourroirs en cuivre.

On fait beaucoup usage, depuis plusieurs années, d'étoupilles en corde, goudronnée ou non, dans le milieu de laquelle on introduit, en la fabriquant, du pulvérin en poudre finement broyée. Après avoir coupé un bout d'étoupille de longueur, on en enfonce un bout dans la charge de poudre (fig. 72). Par ce moyen, l'épinglette est inutile. L'étoupille brûle très-lentement, ce qui laisse à l'ouvrier le temps de se retirer. La combustion se propage avec une vitesse de 60 centimètres en une minute. L'emploi des étoupilles goudronnées est ce qu'il y a de mieux pour faire sauter les roches sous l'eau.

Ce travail à la poudre donne souvent lieu à des accidents, qui ont pour cause, soit une traînée de poudre le long des parois du trou, soit un bourrage mal exécuté par le seul fait d'une compression trop rapide, de l'air compris entre la cartouche et la première bourre.

Il arrive quelquefois que des trous de mine ne partent pas aussi vite qu'on l'eût cru, et que les ouvriers soient déjà revenus, estimant qu'il a raté, et que l'explosion les surprenne. On doit toujours attendre au moins 8 à 10 minutes, et lorsque plusieurs mines voisines sont chargées en même temps, en déterminer le nombre et noter avec soin celui des explosions. Lorsqu'une mine a raté, il faut examiner avec soin quelle peut en être la cause, et la règle absolue, est de ne débourrer que si le trou de mine est descendant, afin de le tenir plein d'eau, pour mouiller la poudre et éviter une explosion.

182. La disposition des trous de mine est le plus souvent le résultat d'une simple routine, bien qu'elle soit régie par certaines règles, observées tant bien que mal par cette routine.

Ainsi, le travail de la poudre doit être disposé de façon à tenir la roche dégagée sur une ou deux faces latérales, et les axes des trous doivent être dirigés à peu

rès parallèlement à la face latérale libre, la plus rap-
rochée de la charge de poudre. La plus courte distance
e la poudre à la face dégagée de la roche, est ce qu'on
ppelle la ligne de moindre résistance.

Il y a une règle, dite de Bourgogne, qui donne la me-
ıre de la charge. Cette charge, exprimée en grammes,
t égale à la moitié du cube de la ligne de moindre
ésistance exprimée en décimètres.

La dépense est proportionnelle au volume détaché, et
n peut opérer par des coups nombreux et petits, ou
ır des coups rares et plus forts.

Lorsque l'on fera partir plusieurs coups de mine si-
ultanés, il y a avantage à ce que les explosions se fas-
nt au même moment, et non pas isolément. L'effet pro-
uit est plus considérable, et permet d'écarter les trous
avantage. Lorsque l'on aura des bancs bien réguliers
que le travail pourra être mené d'ensemble sur un
and front, il y aura avantage à opérer avec des coups
mine partant ensemble, et pour obtenir une précision
ıns les explosions, au lieu du système d'amorçage or-
naire, on dispose les deux fils d'une bobine Rumkorff
travers la glaise, et on arrive à une seule explosion
ensemble.

183. Quand on ne peut attaquer certaines roches com-
ctes au moyen de la poudre, telles que le quarz, etc.,
désagrège la roche par l'action du feu et on la dé-
che ensuite avec un pic. Il suffit d'allumer un bûcher
sposé de telle sorte que la flamme vienne lécher la ro-
e dont on veut détruire la cohésion.

Emploi du fulmi-coton dans les carrières.

184. Les carrières de la pierre qui sert aux construc-
ons de la ville et de la forteresse de Komorn en Hon-
ie, situées à Totis, sont exploitées depuis quelques an-
es au moyen du fulmi-coton en remplacement de la
udre de mine. M. Opperman, ingénieur, qui a décrit

avec soin ce mode d'exploitation, assure que, les circonstances étant les mêmes, on peut avec les mines au fulmi-coton éloigner davantage les trous des mines qu'avec la poudre, et cet éloignement procure déjà une économie sur les frais de main-d'œuvre et d'usure d'outils dans le rapport de 3 à 4.

Dans l'intervalle qui s'est écoulé entre le commencement de l'hiver de 1857 et le 17 août 1858, on a exploité en tout à la carrière de Leozhegye près Totis, 6,866 mètres cubes de pierres par le fulmi-coton, pour lesquels on a dépensé 260 kilogrammes de ce produit ; c'est-à-dire 38 grammes environ par mètre cube. Dans l'année précédente et pour une même quantité de pierre détachée on avait dépensé 1,680 kilogrammes de poudre de mine ou 233 grammes par mètre cube, c'est-à-dire six fois autant que de fulmi-coton. Les frais de percement et autres frais accessoires ont été les mêmes dans les deux modes, mais ceux par la poudre de mine se sont élevés à 2,860 fr., tandis que ceux au fulmi-coton n'ont été que de 1,600 fr., ce qui a produit une économie de 1,200 fr. économie qui serait plus considérable encore si la préparation du fulmi-coton pouvait se faire en grand dans des fabriques spéciales.

Moyen de fabriquer le fulmi-coton.

185. Pour préparer le coton-poudre, on fait un mélange d'acide azotique et d'acide sulfurique concentrés ; on laisse ce mélange se refroidir et l'on y plonge le coton cardé, tel qu'on le trouve dans le commerce, ou mieux après l'avoir desséché dans une étuve. Pour éviter une élévation de température et la combustion qui en pourrait être la suite, on ne plonge que peu de coton à la fois dans le bain, et l'on fait en sorte que le poids de l'acide soit toujours très-considérable relativement à celui du coton. Après quinze ou vingt minutes de contact avec l'acide, on retire le coton, on le comprime afin de per

dre le moins possible de liquide, et on le lave à grande eau, jusqu'à ce qu'il n'ait plus ni odeur, ni saveur et qu'il n'exerce plus d'action sur le papier de tournesol. L'eau de lavage peut être froide, tiède ou bouillante.

Le coton inflammable, comprimé dans un linge ou dans la main, divisé entre les doigts ou cardé, se dessèche avec facilité à la température ordinaire. Toutefois on peut hâter sa dessiccation en le soumettant à l'action d'un courant d'air à 30 ou 40 degrés, ou en l'abandonnant dans un vase à côté d'une matière avide d'humidité comme la chaux.

Le papier, les tissus inflammables se produisent exactement de la même manière que le coton-poudre, et il est inutile d'ajouter que les matières convenablement préparées donnent toutes un produit identique. (Frémy et Pelouze.)

Composition pour les mines par M. REYNAUD, *de Trets.*

186. Cette composition est formée de nitrate de soude, de tan épuisé, de soufre en poudre, dans la proportion de 52,5 parties de nitrate, 27,5 de tan et 20 de soufre qu'on prépare ainsi qu'il suit : On dissout le nitrate de soude dans une quantité suffisante d'eau, qu'on porte à l'ébullition ; on y mélange le tan jusqu'à ce qu'il soit bien imprégné de la solution, puis le soufre. On enlève du feu après incorporation, on fait sécher et l'on renferme dans des tonneaux ou des sacs cette composition qui est prête à servir.

Machine à couper la pierre.

187. On a inventé beaucoup de machines à diviser la pierre, qui semblent ne pas avoir donné de bons résultats.

MM. Hunter ont pensé qu'on pouvait établir sur un arbre tournant un disque en fer ou en fonte, de tel diamètre qu'on le jugerait à propos, et sur ce disque fixer

solidement un certain nombre d'outils en acier qui rempliraient les fonctions de dent pour entamer la pierre à sec, ainsi que cela s'opère dans la scie dite passe-partout. C'est là l'idée qu'ils ont réalisée dans la machine dont on va donner plus loin la description.

La machine de MM. Hunter fonctionne avec fermeté et célérité, elle entame la matière avec vigueur et paraît avancer dans une pierre de moyenne épaisseur et demi-tendre au taux de 15 centimètres par minute. Elle peut, par la grande dimension de sa scie, couper des pierres d'un fort échantillon en totalité, pour libages par exemple, ou seulement en partie pour donner de certaines formes, et préparer ainsi les pierres qui doivent servir à faire des assises, des appuis, des plates-bandes, des corniches, des architraves, etc. Rien ne paraît plus facile que d'enlever les outils qui ont la forme d'un ciseau, pour les affûter, et de les remettre en place en peu de temps; mais ce qu'il y a de plus important et ce qui paraît constaté par une expérience journalière déjà faite sur une très-grande échelle dans le comté de Glocester en Angleterre, c'est que son travail paraît être fort économique et qu'on a reconnu que, pour couper 1 mètre carré de pierre dure de Portland, travail qu'on payait jadis 5 et 6 fr., il n'en coûtait à la machine que 1 fr. 10 c., et beaucoup moins encore pour la pierre demi-tendre et tendre.

Voici la description de la machine de MM. Hunter :

Fig. 53. Vue en élévation et sur la longueur de la machine.

Fig. 54. Plan de la même machine.

Les organes de travail de cette machine sont portés sur un châssis rectangulaire en bois très-solide qui appuie sur les piliers en maçonnerie. Les longrines de ce bâti sont pourvues de galets qui servent de support et de voie à un charriot A, sur lequel on place la pierre qu'il s'agit de tailler. Ce charriot se compose de deux tables qui laissent entre elles et sur leur longueur une voie pour le passage de la scie, et les tables elles-mêmes sont formées

'un certain nombre de barres parallèles laissant entre elles ın certain intervalle qui forment ainsi une série de rainu-es transversales. Ces rainures sont destinées à recevoir ɜs languettes longitudinales qui font corps avec la face nférieure des presses B, B ayant pour objet de maintenir ɜrmement le bloc de pierre. Cette disposition de surfaces rainures a été adoptée pour permettre à ces pierres de lisser en avant ou en arrière, ou d'être arrêtées en tel ɩoint du charriot qu'on désire. Le bâti qui constitue ces ɩresses est évidé au milieu, c'est-à-dire qu'il présente ıne ouverture rectangulaire et verticale au centre ser-ant de guides aux blocs qui maintiennent la pierre. Ces ɩlocs sont attachés à l'extrémité d'une vis qui fonctionne ans la traverse supérieure de la presse et ces vis sont ɔurnées ou détournées au besoin par des roues à poi-nées calées sur leur tête ou extrémité supérieure. Les resses sont articulées à charnière dans leur portion in-ɜrieure pour pouvoir les rabattre et les éloigner de la ɩièce qui a été détachée, afin qu'on puisse l'enlever.

Le charriot A se meut en avant avec une vitesse de 15 entimètres par minute, plus ou moins suivant la nature t qualité de la pierre. On lui communique ce mouvement l'aide d'une poulie C que commande une courroie sans n passant sur une autre poulie calée sur l'arbre princi-al qui porte la scie aux outils découpeurs. La poulie C st fixe sur l'arbre transversal D, et le pignon à l'extré-ıité de cet arbre transmet le mouvement à la roue calée ır l'arbre dit d'alimentation ou d'avance E qui fonc-onne dans des poulies boulonnées à l'extérieur des lon-rines principales du châssis. Sur cet arbre E sont calés uatre pignons qui engrènent dans des crémaillères lon-itudinales disposées sur la face inférieure du charriot A, ; font par conséquent mouvoir celui-ci en avant avec ne vitesse uniforme et régulière.

La pierre est découpée ou divisée par le disque ou scie irculaire F qui porte sur sa périphérie un certain nom-re d'outils; le disque E est enfilé sur un arbre principal

transverse, dont les paliers sont boulonnés sur deux piè-ces de bois disposées à l'intérieur et sur la longueur du châssis ; sur l'extrémité saillante de cet arbre sont mon-tées une roue dentée principale et motrice, ainsi que la poulie qui imprime le mouvement à la partie C par l'ex-trémité de la courroie. Cette roue principale est comman-dée par un engrenage que font fonctionner ou arrêten les poulies fixes et folles H enfilées sur un petit arbr transversal qui fait marcher une courroie de command sans fin qui vient d'une machine à vapeur ou de tou autre premier moteur. Sur ce premier arbre est auss disposée une poulie qui, à l'aide d'une courroie, com munique le mouvement à une poulie folle sur l'arbre D lorsque cette poulie est embrayée avec la poulie C, l charriot A marche en arrière ou dans une direction con traire à celle que lui imprimait la poulie C. La roue poignées à l'extrémité de l'arbre D a pour but de fai mouvoir le charriot à la main suivant l'une ou l'autr direction, selon les besoins.

Les outils qui constituent, pratiquement parlant, le dents de la scie, consistent en des tiges d'acier cylindri ques et en partie tubulaires, dont l'extrémité tranchan se dilate en dehors comme le pavillon d'une trompett Ces outils sont disposés séparément dans des boîtes tubu laires dont les faces inférieures ont reçu une forme pro pre à s'adapter dans des rainures à queue d'aronde tai lées en direction transversale sur la périphérie du disqu F, disposition qui permet d'enlever aisément ces outi pendant que la machine fonctionne. Ces outils sont main tenus dans leurs boîtes tubulaires respectives par u ressort en caoutchouc vulcanisé disposé dans une retrai à la partie inférieure de la boîte où ils servent à press l'outil sur la partie supérieure de cette boîte.

Les inventeurs ont apporté une modification à cet machine pour tailler les pierres d'angle ou à deux par ments, et qui consiste en deux scies fonctionnant à ang droit, de manière à découper des blocs équarris dans u masse avec célérité et économie de matière.

CHAPITRE XII.

Main-d'œuvre.

188. Quand on recherche la cause des revers subis par des fabriques de chaux, de ciments, de plâtre, etc., on la trouve ordinairement dans les transports ou la main-d'œuvre. La première étude, la plus indispensable, lorsqu'il s'agit de créer un établissement de ce genre est donc celle de la question de la main-d'œuvre, dans laquelle nous confondons les transports. Il ne faut pas oublier que tout transport qui peut être évité, toute fausse manœuvre, augmente le prix de la matière sans en augmenter la valeur.

L'endroit le plus avantageux serait celui où la matière à calciner et le combustible se trouveraient réunis, en même temps que la main-d'œuvre, proprement dite, serait à bon marché et le lieu de l'écoulement de la marchaudise à proximité. Si toutes ces conditions ne se rencontraient pas à la fois, il faudrait considérer jusqu'à quel point celle qui manque a de l'importance, en raison des concurrences en présence desquelles on doit se trouver.

Pour bien, il faut que la pierre à chaux et le combustible arrivent au niveau du gueulard des fours coulants; que, quand on défourne la chaux, elle se trouve, sur une banquette, au niveau des voitures sur lesquelles on doit la charger, et que ces voitures circulent librement sur un pavé bien entretenu. En principe, on doit disposer le chantier de manière à ce que les matériaux n'aient jamais à remonter quand ils ont à changer de place.

Toute économie, en fait d'entretien de chemin, est une économie mal entendue, comme celle qu'on croit faire quelquefois sur le prix d'achat des chevaux. Il ne faut pas oublier qu'un mauvais cheval mange autant qu'un bon.

189. L'expérience et les circonstances déterminen presque toujours le choix des moteurs qu'on doit em ployer. Nous donnerons cependant quelques renseigne ments sur l'effet utile des moteurs animés, exprimés e unités dynamiques ou kilogrammètres.

Disons d'abord qu'on entend par unité dynamique, o kilogrammètre, le travail développé par l'élévation d'u corps pesant 1 kilogramme à 1 mètre de hauteur. Ainsi le travail développé par l'élévation d'un corps pesant kilogrammes, à 3 mètres de hauteur, est égal à 24 kilo grammètres; et on le désigne en abrégé par 24 k^{m}.

Il est certain que c'est la grandeur du travail effectu par un moteur qui doit servir de base à ce qu'il doi coûter d'argent : si deux ouvriers sont employés à éle ver des pierres d'un niveau à un autre, et que l'un d'eu en élève deux fois plus que l'autre, il est clair qu'il aur effectué un travail double, et qu'en conséquence il devr recevoir un salaire double de celui que recevra l'autr ouvrier. De même, si l'un de ces ouvriers élève une certaine quantité de pierres à 2 mètres de hauteur, tandi que l'autre élève la même quantité à 1 mètre seulement le premier aura fait un travail double du travail fait pa le second, et devra être payé deux fois plus.

Ainsi, on comprend qu'il revient au même d'élever kilogrammes à 7 mètres de hauteur (ce qui fait 35 kilo grammètres), que 35 kilogrammes à 1 mètre, ou 1 kilogramme à 35 mètres.

190. Au point de vue de l'industrie, il n'y a, en réalité, que quatre moteurs, savoir : 1° les moteurs animés 2° les cours d'eau; 3° le vent; 4° la vapeur. Nous ajouterons les corps pesants, à cause des plans inclinés automoteurs, dont on fait de fréquentes applications dans les carrières.

Les ressorts, tels que ceux qui font marcher les pendules; un gaz ou l'air qui a été comprimé, et qui agit de la même manière qu'un ressort, sont aussi des moteurs. Mais ils n'agissent sur une machine qu'après avoir été

ndus ou comprimés, ce qui exige l'action d'un autre oteur pour agir sur eux. Enfin, il y a l'électricité; ais, jusqu'à présent, on ne peut la considérer que mme un moteur théorique.

191. L'homme et les animaux employés pour faire ouvoir des machines sont des *moteurs animés*. La force l'homme peut être employée de bien des manières, t M. Delaunay, ingénieur des mines, dont le cours de écanique nous sert en ce moment. L'homme peut ousser ou tirer, soit horizontalement, soit verticale-ent, en agissant avec ses mains et sans se déplacer; ant assis, il peut pousser avec ses pieds; il peut en-re agir en poussant ou tirant, en même temps qu'il arche; il peut enfin agir par son poids seulement. La antité de travail qu'il développe dans ces diverses rconstances est loin d'être la même. Il est donc im-rtant de savoir de quelle manière sa force doit être nployée, pour produire la plus grande quantité possi-e de travail. Mais, en cherchant à résoudre cette ques-on, on ne doit pas oublier que l'homme se fatigue en availlant; si l'on veut lui faire produire une trop ande quantité de travail dans un temps donné, il ne urra pas travailler aussi longtemps dans sa journée; l'on exige trop de lui dans une journée, il en résultera ie fatigue qui persistera dans les journées suivantes, et est ce qu'on doit toujours éviter.

En ne considérant que la grandeur de la force qu'un mme peut développer pour vaincre une résistance, on connaît que cette force varie beaucoup, suivant que omme agit de telle ou telle manière. On a trouvé que le us grand effort qu'il puisse produire correspond au s où il cherche à soulever un poids placé entre ses mbes. Cet effort maximum peut aller à 200 et même 0 kilogrammes, suivant les individus; en moyenne, on ut l'évaluer à 130 kilog.

Si l'homme a une trop grande résistance à vaincre, le emin qu'il peut faire est petit; si la résistance est fort

peu de chose, il pourra parcourir un grand chemin. Da les deux cas, si on multiplie les deux éléments du tı vail, l'un par l'autre, comme il a été dit en commença ce chapitre, on verra que le nombre de kilogrammètı sera petit. Si, au contraire, la résistance à vaincre n' ni trop grande ni trop petite, l'homme pourra produ une plus grande somme de travail dans une journée. homme ne doit donc pas employer toute sa force, loı qu'il se livre à un travail continu; il ne doit avoi exercer à chaque instant qu'une portion de l'effort ma mum dont il est capable. C'est à l'expérience à indiqu la grandeur de la force qu'un homme doit développ et la vitesse avec laquelle son point d'application d se déplacer, pour effectuer le plus de travail possi dans une journée, suivant que cette force est appliqu de telle ou telle manière.

Disons, comme exemple, qu'on a trouvé que les ho mes qui manœuvrent une *sonnette à tiraude*, qui ser enfoncer des pieux très-longs et très-gros dans certa travaux, doivent soulever chacun environ 20 kilogra mes du poids du *mouton* (masse de fonte), à 1 mètre hauteur; qu'ils doivent battre à peu près 20 coups ı minute, et 60 à 80 coups de suite; après quoi ils d vent se reposer autant de temps qu'ils ont travaillé (De même, on a reconnu que les hommes qui manœ vrent un cabestan doivent exercer chacun une press de 12 kilogrammes à l'extrémité du levier sur leque

(1) Rien n'est plus facile que de se rendre compte, dans cet ex ple, du travail de l'homme :

$$\frac{11}{2} \times 20 \times 1 \times 20 \times 60 = 132{,}000 \text{km.}$$

On a supposé la journée de 11 heures, réduite à 5 1/2, puisqu' a autant de temps de repos que de travail. En multipliant les k grammes par la hauteur, puis le produit par le nombre de coup une minute, on a 400 kilog. par minute, ou 24,000 par heure; quels, multipliés par 5 h. 1/2, donnent 132,000 kilog.

git ; ils doivent, en outre, marcher avec une vitesse de) centimètres par seconde. De même encore, on a trouvé u'un homme qui tourne une manivelle, dont le rayon st d'environ 0m.32, doit exercer sur la poignée une ression de 7 à 8 kilogrammes, et faire faire à la maivelle de 20 à 25 tours par minute.

192. En général, on peut dire qu'un homme effectue ne plus grande quantité de travail dans sa journée, orsqu'il se repose de temps en temps, que lorsqu'il agit l'une manière continue. D'un autre côté, cette quantité le travail est d'autant plus grande, que les efforts exerés par ses muscles se rapprochent plus de ceux auxquels l est destiné par nature. Il est donc très-avantageux de aire consister le travail de l'homme dans la simple élévation de son corps, toutes les fois que cette élévation peut être employée à la production de l'effet qu'on en veut obtenir. En voici deux exemples :

1° Lorsqu'on a des terres à élever d'un niveau à un autre, on peut se servir de l'appareil représenté par la figure 74. Cet appareil se compose d'une grande poulie, dans la gorge de laquelle passe une corde qui supporte, à chacune de ses extrémités, un grand plateau analogue aux plateaux de balance. La longueur de corde a été déterminée de manière que l'un des plateaux soit au niveau du sol inférieur, lorsque l'autre est au niveau du sol supérieur. On amène une brouette chargée de terre sur le plateau qui est en bas; en même temps, un ouvrier se place, avec une brouette vide, dans l'autre plateau. Si l'ouvrier pèse un peu plus que la terre contenue dans la première brouette, il entraîne la corde; le plateau sur lequel il est placé, descend du niveau supérieur au niveau inférieur ; et le plateau qui contient la brouette chargée de terre s'élève au contraire du niveau inférieur au niveau supérieur. Alors on décharge les deux plateaux, pour remettre une brouette chargée de terre dans celui qui vient de descendre, et une brouette vide, avec un ouvrier, dans celui qui vient de monter ; les plateaux

se mettent de nouveau en mouvement en sens contrair et ainsi de suite. Les brouettes pleines sont amenées a bas de l'appareil; à mesure qu'elles sont élevées au n veau supérieur, on les emmène pour les vider; puis c les ramène vides vers le haut de l'appareil; elles rede cendent et retournent à l'endroit où elles doivent êt remplies pour recommencer le même mouvement. D ouvriers sont employés, les uns au niveau inférieur, l autres au niveau supérieur, pour rouler les brouett pleines ou vides; en même temps, d'autres ouvrie sont uniquement occupés à monter du niveau inférie au niveau supérieur, à l'aide d'une échelle placée ent les deux plateaux, et à descendre successivement, un un, avec une brouette vide, dans l'un ou l'autre de c deux plateaux. Un homme placé au haut de l'appare agit sur la corde pour ralentir ou accélérer le mouv ment, suivant que le poids du plateau descendant l'en porte plus ou moins sur le poids du plateau ascendan Cet appareil a été employé pour la première fois da les travaux des terrassements effectués au fort de Vi cennes, près Paris, et y a procuré une économie cons dérable.

En manœuvrant de cette manière, un homme produ 35,000 kilogrammètres en une heure. S'il travaille pe dant huit heures dans une journée, il effectue un trava de 280,000 km.

2° Lorsqu'un homme agit sur une roue à chevill (fig. 73), il effectue un travail qui consiste uniqueme dans l'élévation de son corps qui redescend aussitôt e faisant tourner la roue; il se trouve dans des conditio analogues à celle d'un homme qui monte une échel pour employer ensuite son poids à la production d'u effet utile, comme dans l'exemple précédent. Aussi, l quantité de travail qu'il effectue, dans une journée d huit heures, va-t-elle jusqu'à 259,000 km. On voit par l que les roues à chevilles sont d'excellentes machin pour utiliser la force de l'homme.

On emploie ces roues à extraire les pierres des car-
ères. On en voit beaucoup dans la plaine de Mont-
uge, à Gentilly, etc. Elles pourraient être appliquées
tout autre usage.

193. Voici quelques détails sur l'action des forces
ns cette machine. C'est le poids du corps de l'homme
i agit comme force. L'homme ne peut pas, dans ce
s, faire varier sa force à volonté; il ne peut que faire
rier le bras de levier sur lequel il agit, et c'est ainsi
'il parvient à faire équilibre au poids qu'il veut sou-
ver. Admettons, pour simplifier, qu'un seul ouvrier
onte sur les chevilles de la roue, et que son poids suf-
e pour élever la pierre suspendue au câble. On voit
e, lorsque l'ouvrier est au point A, fig. 76, son poids
it être regardé comme agissant sur le bras de levier
N; en sorte que le bras de levier augmente, si l'ou-
ier s'élève de A en B. On conçoit donc qu'il puisse se
acer sur la roue, de manière à faire équilibre au poids
la pierre : il faudra pour cela que son poids et le
ids de la pierre soient inversement proportionnels aux
as de levier O N et O M (1). Soit A la position que doit
cuper l'ouvrier, pour que l'équilibre ait lieu. S'il
onte en B, le bras de levier sur lequel il agit augmente;
n poids, qui n'a pas diminué, se trouve trop fort pour
ire encore équilibre à la résistance; une portion seule-
ent de son poids est employée à faire cet équilibre, et
utre portion détermine le mouvement de la roue dans
sens de la flèche *f*. L'ouvrier se trouve donc ramené
A; s'il continue à monter, la roue ne cessera pas de
urner, et la pierre sera ainsi élevée jusqu'au-dessus du
its.

Si l'ouvrier, au lieu de monter, descendait de A en C,

(1) En mécanique, on sait que la *puissance est à la résistance comme*
rayon du cylindre (rouleau sur lequel s'enroule la corde) *est au rayon*
la roue (circonférence à chevilles sur lesquelles monte l'homme).
sorte que si le rayon de la roue est 10 fois plus grand que le rayon
cylindre, un homme pesant 75 kilog., fera équilibre à 750 kilog.

le bras du levier sur lequel il agirait diminuerait longueur, son poids ne serait plus assez fort pour fai équilibre à la pierre, et la roue prendrait un mouv ment contraire dans le sens de la flèche *f'*, ce qui le mènerait encore en A. On voit donc que le point A une position d'équilibre stable pour l'ouvrier, puisq s'il s'en éloigne, soit en montant, soit en descendant, roue prend toujours un mouvement en vertu duquel est ramené en ce point A.

Si l'ouvrier se place en A', son poids fera aussi b équilibre au poids de la pierre que lorsqu'il est en puisque son bras de levier sera la même ligne O Mais l'équilibre sera instable : que l'ouvrier monte descende sur la roue, à partir du point A', la ro prendra un mouvement qui l'en éloignera de plus plus.

La stabilité de l'équilibre qui a lieu, lorsque l'ouvr est au point A, est d'une très-grande importance, en qu'elle prévient les accidents graves qui se produirai si la roue était entraînée par le poids de la pierre, emportait l'ouvrier dans son mouvement ; aussi, po conserver les avantages de cette stabilité, doit-on fa en sorte que le point A soit notablement plus bas q l'axe du treuil O, car elle pourrait devenir inefficace, ce point n'était que très-peu inférieur à l'axe.

194. Il résulte de ce qui précède que le travail d'u homme, par heure, représente :

	Kilogrammèt
En manœuvrant une sonnette à tiraude. . .	24000
En tournant une manivelle.	21500
En faisant contre-poids dans un plateau (fig. 74).	35000
En montant sur une roue à chevilles (fig. 73 et 76).	32275

Dans le premier cas, la journée pourrait être comp pour 5 h. 1/2; dans les trois autres pour 8 heures.

195. Le cheval est très-souvent employé comme n

eur. Mais il offre beaucoup moins de variété que l'homme, dans la manière dont sa force peut être appliquée. Son mode d'action se réduit presque uniquement à tirer horizontalement, dans le sens dans lequel il marche. On peut d'ailleurs appliquer au travail du cheval les mêmes observations générales qu'au travail de l'homme.

Quant on veut utiliser la force du cheval dans le travail dont il est ici question, on le fait agir sur un *manège*. Dans ce cas il est attelé à une pièce de bois fixée à un arbre vertical; il tire en tournant, et fait prendre à cet arbre un mouvement de rotation, qui peut aussi se transmettre à toute espèce de machine. Tout le monde sait quelles nombreuses applications on fait du manège.

On peut dire que le manège est pour le cheval ce que la manivelle est pour l'homme. Un cheval qui travaille dans un manège produit moins d'effet qu'un cheval de roulier et se fatigue davantage. Pour qu'il ne soit pas trop gêné, il faut que le manège ait au moins 13 mètres de diamètre.

En comparant la quantité de travail qu'un cheval effectue dans un manège, avec celle qui est effectuée par un homme agissant sur une manivelle on trouve qu'un cheval équivaut à peu près à sept hommes (1).

Attelé à un manège, un bœuf effectue presque autant de travail qu'un cheval.

Un âne agissant sur un manège ne produit guère plus du quart du travail effectué par un cheval.

Nous donnons dans le tableau ci-joint les comparaisons des quantités de travail produites par les moteurs animés dans les circonstances les plus ordinaires.

(1) La force d'un cheval est inférieure à ce que l'on nomme un *cheval-vapeur* ou un cheval dynamique, puisqu'on entend par là une puissance capable de produire un travail de 75 kilogrammètres par seconde; c'est-à-dire la force nécessaire pour élever d'un mouvement continu un poids de 75 kilog. à 1 mètre de hauteur en une seconde. Ou, ce qui revient au même, comme nous le savons, par exemple, 25 kilog. à 3 mèt. en 1″; ou 3 kilog. à 25ᵐ. en 1″; ou 1 kilog. à 75ᵐ. en 1″, ou, etc.

NATURE DU TRAVAIL.	Poids élevé. Effort moyen.	Vitesse par seconde.	Travail par seconde.	Durée de la journée.	TRAVAIL produit dans la journée.
Manœuvre élevant verticalement un poids avec corde et poulie, descente à vide.. . .	kil. 65	mèt. 0.15	km. 9.75	hs. 8	km. 280.800
— sur son dos, descente à vide..	60	0.04	2.6	6	56.180
— à la brouette, sur rampe au 1/12, descente à vide	60	0.02	1.2	10	43.200
— à la pelle, à la hauteur de 1m.60.	2.7	0.40	1.08	10	38.880
Manœuvre agissant sur roue à cheville, au niveau de l'axe.	60	0.15	9	8	259.200
— une manivelle.	8	0.75	6	8	172.800
Manœuvre transportant horizontalement avec une petite charrette, retour à vide (le poids du véhicule n'est pas compris dans le chiffre indiqué).	100	0.50	50	10	1.800.000
— avec une brouette, retour à vide.	60	0.50	30	10	1.080.000
— sur son dos, retour à vide	65	0.50	32.5	6	702.000
— à la pelle, jetée de 4m. .	2.7	0.68	1.8	10	64.800
Cheval attelé à une voiture allant au pas..	70	0.90	63.	10	2.168.000
— au trot.	44	2.20	96.8	4.5	1.568.160
— à un manège, allant au pas..	45	0.90	40.5	8	1.166.400
— au trot.	30	2.00	60	4.5	972.000
Cheval transportant un fardeau, marchant au pas et revenant à vide.	700	0.60	420	10	15.120.000
— marchant au pas continuellement chargé. . .	700	1.10	770	10	27.720.000

198. Le travail produit dépendant de plusieurs facırs, il y a une certaine relation entre eux pour laelle le produit est maximum.

1° Quand l'effort produit varie de 1/3 au 1/5 de celui 'il pourrait produire sans vitesse pendant un temps ı peu prolongé;

2° Quand la vitesse varie de 1/4 au 1/6 pour l'homme, de 1/12 au 1/15 pour le cheval, de la plus grande visse que ces moteurs pourraient prendre pendant un mps prolongé sans produire d'efforts;

3° Quand la durée ordinaire du travail varie de 1/2 1/3 du temps le plus prolongé, pendant lequel le trail peut être soutenu sans nuire à la santé.

199. Quelques essais faits pour utiliser la force des imaux au moyen de leurs pieds sur des espèces de ues à marcher, pour produire un mouvement circure continu, n'ont jamais été adoptés dans la pratique, ıand on a voulu opérer un travail considérable.

Notions sur le transport des fardeaux.

200. Quand on veut transporter une pierre, un corps sant, d'un endroit à un autre, sur un sol horizontal, ı a toujours besoin d'employer une certaine force, qui ırie beaucoup pour un même temps, suivant les cirınstances dans lesquelles le transport s'effectue.

Si le corps qu'on veut transporter pouvait glisser ou ıuler sur le sol, sans éprouver aucune des *résistances ıssives* (1) qui se présentent, il suffirait de lui don-

(1) Les résistances qu'une machine doit vaincre, telle que le poids s corps qu'elle doit élever, la cohésion des molécules des corps ı'elle doit pulvériser, etc., sont des résistances *utiles*. Mais il se oduit toujours d'autres résistances, désignées, en général, sous le ım de *résistances passives*, comme le frottement, ou *résistance au issement;* la *résistance au roulement;* la *raideur des cordes*, qui, ıur remplir convenablement leur objet, doivent présenter une flexi-

ner une petite impulsion pour qu'il se mît en mouv ment et conservât indéfiniment la même vitesse. On r donc à craindre que les résistances passives pour opér le transport d'un corps pesant sur un corps horizont En variant les moyens de transport, on peut réduir des proportions très-minimes la force qui entretient mouvement de fardeaux énormes.

201. *Transport direct par l'homme ou les animaux.* Le transport à dos d'animaux, ou celui qu'un homi effectue en *portant* un fardeau, soit dans ses mains, s sur son dos, ou de toute autre manière, n'éprouve d'a tre résistance que la résistance passive de l'air, qui négligeable, tellement elle est peu de chose, attendu q la vitesse n'est jamais bien grande. Dans ce cas, la fo appliquée au fardeau horizontalement et dans le se du mouvement, est donc, pour ainsi dire, nulle. M l'opération du transport, dit M. Delaunay, est accomp gnée d'une tension des muscles qui servent à soute le fardeau, tension qui fatigue l'homme, et qui le fa guerait également, quand même il resterait au repo en outre, les muscles des jambes, qui servent à la loc motion, éprouvent une fatigue, en raison du jeu qu prennent.

Ces diverses causes réunies font que le transport dir d'un fardeau par un homme est très-pénible; qu'il peut s'effectuer que pour des fardeaux dont le poids soit pas trop grand; et enfin qu'on ne doit y avoir cours que pour de petites distances à parcourir, lorsq le poids des fardeaux est un peu considérable.

201. *Transport par glissement.* — Si l'on veut tran porter un corps sans qu'il soit porté par un homme par un animal, il s'appuie sur le sol, soit directeme soit par l'intermédiaire d'un appareil qui sert à transp

bilité parfaite; enfin la *résistance des fluides.* Nous ne pouvons trer ici dans l'examen successif des diverses espèces de résistan passives, et en indiquer les lois.

r en tirant ou en poussant. La pression qu'il exerce en s points d'appui sur le sol donne lieu à des résistances ii s'ajoutent à la résistance de l'air, et s'opposent à son ouvement.

Si le corps repose directement sur le sol, et qu'on le sse mouvoir par glissement, il se développe un frotte-ent considérable. C'est ce qui a lieu, par exemple, lors-i'on transporte des pièces de bois, en les faisant traîner ir des chevaux, à l'aide de chaînes attachées à l'une de urs extrémités ; ou de grosses pierres, pour les chan-ir de place dans les chantiers ou en les déchargeant.

Dans de pareils mouvements, la résistance à vaincre irie suivant la nature des surfaces qui glissent l'une sur utre. Pour diminuer la résistance, on fait en sorte que s surfaces soient formées de matières qui glissent faci-ment. Ainsi, on diminue la grandeur du frottement, en isant glisser le corps sur des madriers graissés.

202. *Transport par roulement.* — Lorsqu'un corps est nd, ou à peu près, on en profite pour le transporter en faisant rouler, ce qui est moins difficile que de le faire isser. Il est rare que les mineurs ou les carriers aient transporter un fardeau de cette forme. Cependant, nous rons comme curiosité, d'après Vitruve, que le transport ir roulement a été employé, pour transporter des fûts colonnes qui pesaient 250,000 kilog., par Ctésiphon, chitecte du fameux temple de Diane à Ephèse, 600 ans ant Jésus-Christ. A cet effet, Ctésiphon leur adapta une onture de bois, destinée à leur appliquer une force de action, comme on le fait pour les rouleaux dont on se rt en agriculture.

Il est rare, disons-nous, que la forme d'un fardeau se ête à ce mode de transport. Mais on parvient d'une itre manière à remplacer le glissement par un roule-ent : si le fardeau représente une face plane d'une endue un peu grande, on le fait reposer par cette face ir deux rouleaux de bois, placés sur le sol, à une cer-

taine distance l'un de l'autre, et dans des directions pe pendiculaires à celles du mouvement qu'on veut produir Lorsque ensuite on tire ou qu'on pousse ce fardeau, marche, en faisant rouler les rouleaux ; et, si le sol n'e pas trop irrégulier, le déplacement s'effectue sans qu'il ait glissement, ni des rouleaux sur le sol, ni du farde sur les rouleaux.

Ce moyen est employé à chaque instant, quand la d tance à parcourir est petite. Nous n'avons donc pas nous y arrêter. Nous dirons seulement que la force n cessaire pour faire mouvoir ainsi un fardeau sera d'a tant plus grande que le diamètre des rouleaux sera pl petit ; et qu'en conséquence, il est avantageux de prend des rouleaux d'un aussi grand diamètre qu'on pourra.

203. *Transport sur des roues.* — Dans l'emploi des ro leaux, il n'y a pas de frottement ; mais quand on se se de roues adaptées à des brancards, reposant sur un essie qui leur sert d'axe, il y a à la fois roulement de la ro sur le sol, et glissement de l'essieu dans la boîte de roue. Disons que, si le frottement n'est pas complèteme évité, son influence est très-faible.

204. Le *transport sur une brouette*, tient du *transp direct*, dont nous avons parlé, en même temps que transport sur des roues. En effet, le poids de la broue et du fardeau qu'elle contient se décompose en deux p ties, dont l'une est supportée par la roue et l'autre les mains de l'homme qui tient les manches ; cet hom a donc, à la fois, à supporter la dernière portion de poids, et à pousser la brouette horizontalement, po vaincre les résistances qu'occasionne la première porti

Il y a une différence entre les brouettes françaises les brouettes anglaises, qui servent au terrassement.

205. La *brouette française* a sa caisse presque recta gulaire ; la jante de la roue est large et plate. Elle ne p pas se décharger sans se retourner presque complè ment.

La *brouette anglaise*, dont les parois sont très-évasées, s côtés très-inclinés et n'ayant que peu de hauteur, se écharge en l'inclinant sous un angle de 45 degrés, ce ui peut se faire en la laissant porter sur la roue, sans ue l'homme se déplace et se dessaisisse des brancards, e telle sorte que ce déchargement peut s'effectuer très-romptement et par un ouvrier placé sur une planche ès-étroite.

Le diamètre de la roue est le même dans les deux rouettes. La capacité est aussi la même. Le centre de ravité de la charge se trouve placé, relativement à la oue et aux extrémités des brancards, exactement de la ême manière.

La roue de la brouette anglaise est en fonte, au lieu être en bois. Son moyeu est terminé en pointe et lui sert axe; la jante n'a que 0m.025 d'épaisseur et est terminée ar une surface arrondie, tandis que, dans la brouette ançaise, elle est large de 0m.050 et plate.

On a beaucoup cherché à modifier la brouette ordinaire n variant la position de la charge par rapport à celle de roue, en augmentant le diamètre de la roue, en allon-eant les brancards. Mais les ouvriers préfèrent toujours a broutte terrassière ordinaire. Il ne serait pas difficile e démontrer qu'ils ont raison.

La longueur du relai est ordinairement d'environ 30 iètres. Mais sur des rampes inclinées au dixième ou au ouzième, elle n'est que de 20 mètres environ.

206. Si, d'une part, un homme, marchant à la vitesse e 50 centimètres par seconde, transporte un fardeau de) kilogrammes dans une brouette qu'il ramène à vide; , d'un autre côté, un cheval, marchant à une vitesse e 1m.10 par seconde, transporte 555 kilogrammes dans n tombereau et qu'il revienne à vide, le tombereau fera 4 fois autant de transport que la brouette, l'un et l'au-re travaillant 10 heures par jour.

207. *Voitures à deux et à quatre roues.* — Dans une

voiture à deux roues, le poids supporté par le brancar se décompose aussi, comme pour la brouette, en deu parties, l'une supportée par les deux roues, et l'aut par l'homme ou l'animal qui agit sur les limons. Mais y a une différence essentielle avec la brouette, parce qu la charge se dispose de manière à peser sur l'essie L'homme ou l'animal, en exerçant une force de tractio horizontale pour faire marcher la voiture, n'a qu'à ag faiblement sur les limons, pour maintenir le brancar dans une position convenable.

Dans une voiture à quatre roues, on n'a plus beso d'exercer aucune action pour maintenir le brancard : suffit de tirer la voiture, dans le sens du mouveme qu'on veut produire, pour vaincre les résistances occ sionnées par le roulement des roues sur le sol, par glissement des essieux dans les boîtes des roues, et (l'on veut) par l'air que la voiture vient rencontrer da son mouvement.

Quand le poids est considérable, comme celui des éno mes blocs de pierres qu'on transporte à Paris sur d voitures à deux roues, attelées de cinq forts chevaux, l limoniers de ces voitures ont à supporter des cahots q les fatiguent. La bonne disposition du chargement ren habituellement minime la charge sur le limon. Le chev qui supporte cette charge peut traîner sur un sol gli sant, un poids supérieur à celui qu'il traînerait étant l bre, c'est-à-dire que l'effort qu'il peut développer cro avec la charge, parce que le cheval a plus d'adhéren avec le sol.

Dans les voitures à plus de deux roues, les chevau ne portent aucune partie de la charge. Ils peuvent d velopper tous leurs efforts en pleine liberté.

Si on n'était pas limité par le bon attelage des che vaux, par la stabilité de la voiture et par la solidité, serait avantageux de donner aux roues le plus gran diamètre possible. D'après le résumé des expériences d

[. Morin, sur le roulement des voitures et leur action ur la voie, la résistance opposée par les routes pavées u en empierrement solide au mouvement des voitures, st inversement proportionnelle aux rayons des roues.

De plus, cette résistance est sensiblement proportion- ielle à la pression, indépendante de la largeur des ban- es de roues.

Cependant, on comprend que, sur les terrains compres- ibles, les sables qui ne sont pas durs, les routes nouvel- ement empierrées, la résistance décroît quand la lar- ;eur de la roue augmente.

Sur un bon pavé, la résistance, au pas, n'est que les rois quarts de celle qu'offrent les meilleures routes en mpierrements.

208. Quant à la manière dont le tirage varie avec la iature du chemin, dit M. Delaunay, on en aura une idée n examinant le tableau suivant, qui donne le rapport lu tirage au poids tctal de la voiture, dans les circons- ances qui se présentent le plus habituellement, et avec es roues qui sont généralement adoptées.

Ce tableau met en évidence le grand avantage que présentent, sous le rapport du tirage, les chemins de fer à ornières saillantes, c'est-à-dire les chemins de fer tels qu'on les construit partout sur les grandes lignes. On voit qu'on peut, avec une même force, y traîner une charge beaucoup plus grande que sur les routes ordi- naires, quel que soit leur état d'entretien.

NATURE DU CHEMIN.	RAPPORT du tirage à la charge totale.
Terrain naturel, non battu, argileux, sec.	250
Terrain naturel, non battu, siliceux et crayeux.	165
Terrain ferme, battu et très-uni. . . .	040
Chaussée en sable et cailloutis nouvellement placés.	125
Chaussée en empierrement à l'état d'entretien ordinaire.	080
Chaussée en empierrement parfaitement entretenue et roulante.	033
Chaussée pavée, voiture suspendue. . . . . . au grand trot.	030
Chaussée pavée, voiture suspendue. . . . . . au pas.	070
Tablier de pont en madriers de chêne non rabottés.	022
Chemins à ornières plates de fonte ou de dalles très-dures.	011
Chemins de fer à ornières saillantes, en bon état.	007
Chemins de fer, *id.*, les essieux étant continuellement graissés.	005

CHEMINS DE FER POUR LE SERVICE DES MINES ET DES CARRIÈRES.

209. Depuis deux ou trois cents ans, au moins, on s sert de petits chemins de fer dans les houillères, dan les carrières, aux abords des canaux, etc. Avant l'appl cation de la vapeur, les tombereaux chargés de matériau qui roulaient sur les ornières en fer, étaient poussés o tirés par des hommes ou des animaux.

A l'origine, on construisait des chemins à ornière creuses en fonte, dans lesquelles roulaient des roue amincies sur le bord et ayant à peu près la forme d'un

ıtille. On avait probablement adopté cette disposition .r imitation des ornières qui se forment sur les routes. ıoiqu'il existe encore de ces chemins en fonte et à orère creuse en Angleterre, on n'en construit plus à cause ı grave inconvénient qui résulte de l'accumulation ɔrdures de toutes sortes qui s'y fait, et qui nuit beauup à la facilité du roulage. Aujourd'hui, on adopte esque partout les chemins de fer à ornières saillantes.

On a vu, par le tableau que nous venons de donner, .vantage des chemins de fer sous le rapport du tirage, de l'économie de main-d'œuvre qu'ils procurent. Il seit d'autant plus inutile d'insister à cet égard, qu'on ın sert aujourd'hui partout où il y a lieu, même dans s constructions de bâtiments.

Les petites voies employées pour les transports dans s mines et les carrières, sont ou à demeure fixe, ou vonts, c'est-à-dire pour une installation de courte durée. ıns ce dernier cas, on emploie des voies toutes faites à .ide de petits rails reliés par de longs boulons qui en glent l'écartement. Ces voies sont disposées par ban-s de plusieurs mètres et se posent directement sur le l, où, sous le poids des wagons, ils s'enfoncent légèreent et offrent assez de stabilité, surtout lorsque c'est un rrain en terre plus ou moins meuble, comme un cavaır de déblais. Ces diverses fractions de voies se racrdent les unes aux autres par de petites plaques et des ɔulons à l'instar des grandes voies de chemin de fer.

Pour les voies permanentes, on emploie des fers plats 10 à 15 centimètres de largeur sur 7 à 8 de hauteur ısant environ 7 kilog. au mètre courant, posés sur des averses, à l'aide d'une entaille et d'un coin de bois. s voies sont d'un bon usage, faciles à réparer, lorsı'un accident arrive à une partie.

Les traverses doivent être faites de préférence en ıêne, leur écartement varie de 0m.50 à 0m.90, suivant la ıalité du sol sur lequel elles reposent, leur équarrisge est généralement de 10/10. De même que les rails

sont plus ou moins longs suivant la qualité du sol, n
cessitant des redressements plus ou moins fréquents.

Pour un sol stable. Longueur des rails. 5 à 6m.
— peu stable. — — 2 à 3m.

Voici les relations qui existent entre les charges ro
lantes, et les dimensions de ces rails.

POIDS des voitures chargées.	RAILS.		
	Hauteur.	Épaisseur.	Poids au mètre courant
250 à 400 kil.	0 045	0.012	4kil.20
400 à 600 —	0.056	0.013	5 . 57
600 à 800 —	0 062	0.014	6 . 76
800 à 1000 —	0.070	0.016	8 . 75

Une voie établie dans les conditions moyennes, c'es
dire avec un écartement de 0m.70 à 0m.80, sur laqu
roulent des wagons pesant de 5 à 800 kilogrammes, a
0m.75 d'écartement des traverses, reviendra à 7 fr. 7(
mètre courant, qui se décomposent ainsi :

Fer.	5 fr. 60
Traverses.	1 . 50
Pose, coins, etc..	» . 60
	7 fr. 70

Dans les courbes, on élève le rail extérieur de 2
centimètres.

Dans les rencontres de voie on n'emploie génér
ment pas d'aiguilles, si ce n'est pour les cas où l'on
circuler un matériel un peu lourd. Les figures 80 m

ənt la disposition d'un croisement de voie sans ai-
illes. C'est le manœuvre qui conduit les wagons qui,
r une impulsion donnée à la caisse, détermine le pas-
ge d'une voie sur l'autre.

Les aiguilles sont, d'ailleurs, extrêmement simples. Le
il est interrompu, vers son extrémité, et la partie finale
vote autour d'un boulon fixé à la traverse, fig. 81.

Un autre système, et qui présente des avantages éco-
omiques sur les précédents consiste, si le matériel rou-
nt n'est pas trop lourd, à employer des plaques d'em-
anchement. Ce sont des plaques en tôle ou fonte fixes,
les quatre rails sont raccordés par des arcs de cercle
ui, sur la plaque, sont creusés vers leur milieu, de fa-
n à être au niveau des traverses, de telle sorte que le
agon arrivé sur cette plaque peut être manœuvré à
lonté sur une ou l'autre plaque des voies ; ou bien
core, la plaque porte un cercle inscrit dans l'entre-
ie, faisant une saillie contre laquelle on peut guider
cilement le wagon pour le faire tourner.

Sur ces voies circulent des wagonets, soit pour porter
s déblais au loin de la partie exploitée, soit pour porter
s pierres à chaux ou à plâtre de la carrière au four.
s wagons sont ou en bois armés de cornières en fer,
complétement en tôle.

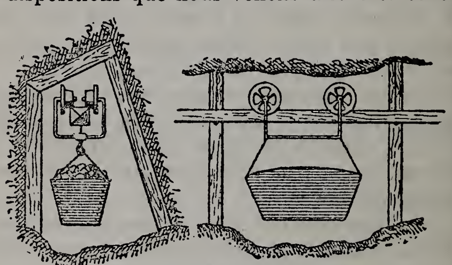
Les deux systèmes ont leurs défenseurs réciproques.
Le grand avantage du premier est une grande facilité
réparations en cas d'accidents, sans entraîner l'ex-
oitant à de trop fréquents renouvellements de matériel.
plus, dans les cas d'exploitation à ciel ouvert, les
agonets entièrement en tôle sont soumis à une oxy-
tion qui est une cause d'usure. Cependant, dans les
urs à chaux, pour vider les fours et porter directement
pierre cuite aux casseurs ou aux fours d'extinction,
s wagons en tôle peuvent être seuls employés. Aussi, ce
atériel se rencontre-t-il souvent d'une façon exclusive
ns ces usines.

Pour remédier aux effets de la force centrifuge, les

roues ont généralement des jantes coniques. On emplo
le plus souvent des roues folles sur des essieux fixes,
l'on a beaucoup de courbes afin de faciliter les passag
en ces parties. Le meilleur matériel est celui qui e
calculé, de façon à présenter pour une charge utile
500 kilogrammes un poids total d'environ 700 kil
grammes.

Dans de nombreuses carrières de Meudon, la natu
du sol était telle qu'on ne pouvait établir d'une faç
convenable une voie roulante comme celle décrit
M. Savalle l'a modifiée d'une façon fort ingénieuse.
voie n'a qu'une largeur de 27 à 30 centimètres, et
wagon au lieu de roues est armé de deux rouleaux
forme de troncs de cône comme la figure 75 en don
une idée.

Les dispositions que nous venons d'étudier sont aus



Chemin de fer suspendu dans les mines.

bien applicables aux exploitations à ciel ouvert et a
exploitations par galerie. Il peut arriver quelquef
que dans les galeries, la nature du sol, ou bien, un co
rant d'eau trop fort empêche d'établir la voie sur le
même; dans ce cas on peut avoir recours à un chem
suspendu.

En voici un exemple. Les rails sont formés par d
pièces de bois assemblées à mi-bois, et qui sont suspe
dus par des boulons à écrous, après les cadres d'un so

ıement posé exprès, s'il n'y en a pas un déjà néces-ire. Le système des roues se trouve disposé au-des-s du wagonnet par une sorte d'essieu recourbé, auquel caisse est suspendue, ainsi que le montrent les figures contre.

Pour les changements de voie, une aiguille pivotante alogue à celle que nous avons décrite pour les voies plat, permet facilement de les exécuter.

Dans les chemins de fer qui desservent les carrières, traction se fait par des moteurs animés, soit par des mmes ou par des chevaux. Quelquefois on profite de ction de la gravité.

Ainsi toutes les fois que le parcours des wagons sera ıiforme, c'est-à-dire aura lieu entre deux points con-ants pour être fait avec charge dans un même sens et vide dans l'autre, il y aura avantage à disposer la voie ec une légère pente du point de départ vers le point ırrivée dans le sens de la marche avec charge, afin de ciliter le travail des rouleurs. C'est incontestablement cette première manière d'utiliser l'action de la gra-té qu'est née l'idée de l'appareil dont nous allons nous cuper.

210. *Plans inclinés automoteurs*. Quand des wagons ıivent descendre chargés et remonter à vide, le long un chemin de fer incliné, on peut attacher un wagon chaque extrémité d'une corde qui passe dans la gorge une grande poulie horizontale, installée au haut du an incliné (fig. 77), et l'on comprend qu'en descendant, wagon chargé doit tirer le wagon vide et le faire re-onter.

On modère la vitesse au moyen d'un frein appliqué à grande poulie, et qui se compose de deux mâchoires bois A A, dont chacune embrasse une portion de la rconférence d'un tambour adapté à la face supérieure la poulie. Ces mâchoires sont mobiles autour de bou-ns qui les traversent à l'une de leurs extrémités ; et urs autres extrémités peuvent être rapprochées l'une

de l'autre par le moyen d'un levier BC, mobile aut d'un point C, et agissant sur deux tringles de fer qui sont articulées, de part et d'autre du point C.

Chaque fois qu'un wagon vide arrive au haut du p incliné, il monte jusque sur une partie du chemin est presque horizontal, et peut y être facilement ma tenu, pendant qu'on le charge. Lorsqu'il a été chargé que l'autre a été vidé au bas du plan incliné, il suffit pousser un peu le premier, pour commencer le mou ment, et il continue de lui-même. On voit, sur les figu 77 et 78, un plancher D, qu'on peut faire tourner aut d'un de ses côtés, et qu'on peut ainsi placer à volo au-dessus de l'une ou l'autre des deux voies; ce pl cher mobile est destiné à faciliter le chargement des gons.

Le plan incliné que nous venons de décrire est à dou voie, cette nécessité serait quelquefois un obstacle p des galeries difficiles à percer, ou une cause de gra dépense dans le cas d'un parcours un peu long. On p y remédier, et n'employer qu'une seule voie, avec gare d'évitement dont la longueur varie avec celle train circulant au point fixe où se fait la rencontre deux trains. Cette aiguille est automatique, et se mano vre d'elle-même. Ainsi les choses se trouvant dispos comme dans la figure 79, le train montant A passe à dro le train B qui descend vient changer le sens de l'aigui comme l'indique la figure; par suite dans la mano vre suivante, le train B qui est le train montant repren le même chemin qu'il a suivi, et il en sera de même train A.

Un plan incliné, disposé comme celui que nous ven de décrire, prend le nom de *plan incliné automoteur*. Ce dont nous avons donné le dessin existe dans une mine houille des environs de Saint-Etienne.

Dans la carrière de grès de Villejust, près de Palaise il existe un plan incliné automoteur qui sert à tra porter les pavés à une grande distance, et qui, cert



Vue d'ensemble du chemin de fer aérien des Carrières d'Argenteuil.

nement, améliore grandement les conditions de ce
exploitation.

211. Pour terminer cette succincte description des a
pareils plus spécialement employés dans l'exploitati
des carrières de pierres à chaux ou à plâtre, nous do
nerons l'indication d'un système très-ingénieux, que l'
voit adopté dans les carrières à plâtre du bassin d'A
genteuil.

Au point où en est actuellement l'exploitation, les c
rières forment de grands cirques, de forme ovale, vois
de la grande route, dont la face la plus proche de ce
route est à peu près en remblais, et la face la plus c
posée et la plus haute est en pleine exploitation.

Dans le fond de cette sorte de cirque, on voit
fours à plâtre qui se trouvent posés sur le fond du ba
même, et reçoivent directement la pierre à plâtre dont
ne sont éloignés que de quelques mètres. Ils sont en r
port facile avec la grande route, à l'aide d'une rout
pente très-légère qui traverse la face du cirque qui l
sépare au moyen d'une tranchée ou d'un petit tunn
Les diverses couches de pierre à plâtre sont séparées
des couches de marne dont une partie est employée à
fabrication du ciment dans une usine proche. D'au
part, dans l'avancement de la carrière, il faut enle
des parties de terre recouvrant le banc; et afin de
pas encombrer le fond du cirque, et d'y faire tom
aucun déblai venant se mélanger avec la pierre qu
tombe ou y est descendue de gradins en gradins, o
installé un système très-ingénieux de chemin de fer
rien. Il est formé par deux câbles en fil-de-fer parall
amarrés à un buttoir fixe placé sur la partie que l
exploite, et à un buttoir mobile à l'autre extrémité.
buttoir en fer peut facilement être changé de place s
vant l'avancement du cavalier des déblais, et voici co
ment les câbles sont retenus sur lui. Des clefs à ti
filetées traversent un fort madrier et y sont retenues
de puissants écrous. Le câble se trouve, au moyen d'

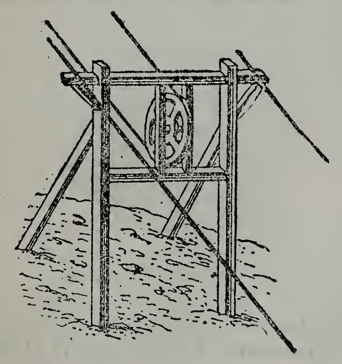
ɔissure, faire corps avec une boucle faite d'une autre
ɔrtion de câble, et cette boucle passe sur la clef.



Buttoir d'arrêt mobile.

A l'aide des écrous, on peut régler la tension des câ-
es, puis lorsque le cavalier ayant augmenté, il faut
placer le système, il n'y a qu'à défaire l'épissure du
ble sur la boucle, porter le système à la place conve-
ıble et refaire cette épissure. Les câbles sont naturelle-
ent tenus dès la première fois à la longueur définitive
ı'ils pourront avoir.

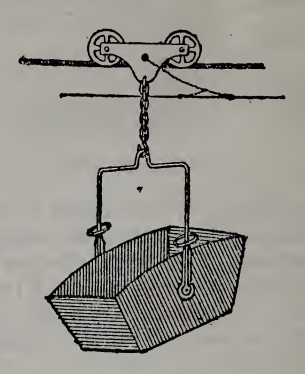
Sur le cavalier est un grand cadre en charpente sur
quel passent les câbles en fil-de-fer et qui portent une
ɔulie folle. Au sommet du front de taille sont disposés



Charpente sur le cavalier de déblais portant la polie folle.

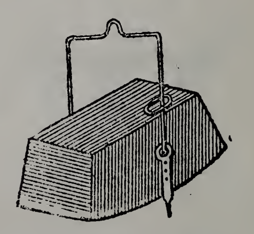
sur une plate-forme en bois, ou en réserve dans la mas
un treuil et des supports pour les câbles. Entre les d
poulies du treuil et de la charpente du cavalier pa
une corde sans fin.

Un système de petits paniers en tôle suspendus



Panier de transport.

une chappe et deux poulies sur les câbles en fil-de
sont fixés par une allonge à la corde sans fin.



Renversement des paniers.

Le front de taille est garni de deux équipes compo
chacune de 2 piocheurs, 1 1/2 manœuvre et 2 homme

euil. Sur le cavalier 2 déchargeurs. Un manœuvre porte ur sa brouette, un panier plein, que le compagnon comiun aux deux équipes accroche à la place du vide, qu'il lacera tout à l'heure sur la brouette. Les hommes du euil le mettent en mouvement, le panier plein est conuit vers le cavalier et le vide revient du même cavalier u front de taille. L'un des hommes placé au cavalier erse le contenu du panier dans sa brouette, sans la écrocher, mais en défaisant la clavette qui la maintient erticale, et, ou bien porte le déblai au bout du talus, ou erse par une trémie la marne pour ciment dans une voiire rangée au bas du cavalier qui de là la porte à l'usine.

Un pareil outillage marche d'une façon continue, et les eux bennes circulent sans temps d'arrêt fort appréiable.

Les câbles en fil-de-fer peuvent mesurer $0^{m}.025$ de diaiètre, les bennes $0^{m}.60$ de longueur sur $0^{m}.30$ de largeur t $0^{m}.40$ de profondeur. Les figures ci-jointes donnent les létails et l'ensemble de cet appareil.

De l'emplacement à donner aux usines.

211 *bis*. Une des grandes difficultés que présentera oujours l'étude de la construction d'une usine à chaux u à plâtre, sera le choix de l'emplacement, examiné au oint de vue particulier des transports qui viendront revever le produit fabriqué. Ces transports, ainsi que les ombustibles, deviennent tous les jours de plus en plus oûteux et sont une des principales causes de l'élévation u prix de revient de la marchandise, et par suite de la ifficulté d'une vente rémunératrice.

Il n'y a pas de règle absolue à poser dans cette maière, et la solution de cette importante question dépend vidемment tout entière de la sagacité et des études ue fera l'industriel ou l'ingénieur fondateur de l'usine. In ne peut, pour l'aider dans ce travail, qu'indiquer les livers éléments dont il aura à tenir compte.

Nous laissons de côté le cas rare, où l'on pourrai réunir à la fois, et la source de matière première, ou d combustible, ainsi que le marché d'écoulement. Ce cas presqu'impossible à rencontrer, renferme en lui-même l meilleure solution. Nous supposerons que le combustibl s'achète plus ou moins loin de l'usine, et que la livrai son des marchandises s'exécute ou aux environs dans u certain rayon, ou au loin, par voie ferrée ou canal. l faut alors examiner dans ces diverses conditions quell est la position la plus avantageuse pour l'établissemen des fours par rapport à la carrière d'où s'extrait la ma tière première, ou aux diverses carrières qui la four nissent, comme dans le cas de la fabrication des ci ments.

Généralement, on trouve presque toujours les fours si tués au pied même de la carrière, et la raison en es fort simple. Le poids des matières premières extraite étant le plus considérable, est celui qui donnerait lie aux plus grands frais de transport, et on a cherché à le éviter. Cette considération très-juste, et qui permet e effet, dans beaucoup de cas, de négliger la consideratio des autres éléments, est cependant quelquefois poussé à l'excès, et a été pour certains industriels, une caus de mauvais rendement de leur travail. Ainsi, avec un exploitation souterraine un peu étendue, ou une exploi tation à ciel ouvert développée, l'arrivée de la pierre a four exige, quand même, un certain système de trans port, pour conduire la matière des limites extrêmes d l'exploitation à ces fours à cuire. Ces transports se for à l'aide de petits chemins de fer spéciaux, comme ceu que nous avons décrits. Il est certain que dans certair cas, il y aurait tout avantage à développer ce système d transport, relativement économique, et qui permettrait d rapprocher davantage l'usine soit de la voie ferrée, so des canaux, par lesquels arrivent le combustible et pai tent les produits fabriqués. L'augmentation de dépens causée par ce système serait inférieure à celle que caus

transbordement et le transport pour un petit parcours s combustibles ou des produits. Dans beaucoup de s, il sera avantageux d'avoir recours à des plans innés, appareils pouvant rendre de grands services, et ɪnt l'usage n'a pas reçu une extension proportionnée ıx services qu'on en peut tirer.

Enfin, la question sera plus complexe si, comme dans cas de la fabrication des ciments, l'on emploie divers atériaux provenant quelquefois de carrières différentes. faudra examiner avec soin les difficultés qu'offrent les arrois, les poids relatifs transportés, pour en déduire meilleur emplacement de l'usine.

Cette question, sur laquelle nous appelons particulièment l'attention, est en effet capitale, et bien que ıtre insistance puisse paraître singulière, tous les pra:iens savent qu'elle est trop souvent négligée. Ainsi ıe nous l'avons dit dans la description des procédés de brication du plâtre, en rappelant la parole d'un indusiel : « Tout le bénéfice que l'on trouve est dans le pied ı cheval, » parole qui exprime bien quelle importance ımense les transports ont dans le rendement que donra une pareille industrie. Si on examine, en effet, ıelle somme considérable d'argent sera toujours dénsée, en frais de main-d'œuvre, pour les chargements, chargements, rouliers, chevaux, et que d'autre part ı se reporte au peu de valeur qu'a la marchandise, on mprend facilement le rôle important de ce facteur dans tablissement du bénéfice ; si, de plus, on n'oublie pas ıe ces frais sont permanents, il est évident, qu'ainsi ıe nous le disions plus haut, il y a des cas assez nomeux où une légère augmentation dans les frais de preier établissement, par un déplacement de l'usine même, un meilleur choix de cet emplacement, aurait eu pour nséquence une économie réalisée chaque jour pendant ute la durée de l'exploitation et serait devenue une urce certaine de bénéfices.

Ajoutons à cela que le personnel employé pour ces

manutentions, se composant de manœuvres, est recru toujours parmi des individus plus ou moins errant sans métier proprement dit, personnel toujours diffici à gouverner, exigeant beaucoup de surveillance, qu'un chef d'usine a toutes sortes d'intérêts à employ en plus petit nombre possible.

Nous ne saurions donc trop insister, et conseiller, tout fondateur de nouvelle usine, de ne faire bâtir qu' près un mûr examen des diverses circonstances local dans lesquelles il se placera; de bien étudier les dive procédés mécaniques de transport soit pour amener l matières premières, soit pour sortir les marchandise afin de profiter de toutes les petites économies poss bles. Car c'est la somme de ces petites économies q le plus souvent, constituera le plus net de son bénéfi En un mot, il se trouvera en présence d'un problème ass complexe, où il devra chercher le maximum d'un pr duit de facteurs, dont les liaisons mutuelles sont souve difficiles à trouver, et qui réclament une étude atte tive et une certaine perspicacité, qu'aucun conseil fo mulé à l'avance ne saurait fournir. Notre désir est d' voir suffisamment établi l'importance de cette questio pour que tout intéressé s'applique à l'étudier avec soin qu'on n'y apporte toujours pas assez.

APPENDICE

BITUMES ET ASPHALTES.

212. Ces matières diverses ont reçu depuis un certain nombre d'années, des applications excessivement nombreuses ; elles sont employées pour des revêtements extérieurs et intérieurs concurremment avec certains mortiers et surtout avec les enduits de ciment qu'elles remplacent dans de nombreux cas. Aussi, avons-nous ajouté l'étude des bitumes et asphaltes à celle de la chaux, ciment et plâtre, car bien que leur préparation ne soit pas le fait du chaufournier proprement dit, leur emploi étant du domaine de ceux qui se servent des premiers produits, la description de leurs propriétés, ainsi que des procédés de fabrication, nous a semblé ne pas devoir être séparée de celle des chaux et ciments, afin que les personnes intéressées aient tous les renseignements utiles réunis à la fois sous la main.

Les mots *bitume et asphalte* sont employés bien souvent l'un pour l'autre, sans qu'ils correspondent dans l'usage à des déterminations bien distinctes, afin d'apporter plus de clarté dans la suite de cette étude, nous en donnerons une définition précise, et c'est avec le sens précis de cette définition que nous les emploierons désormais.

Les bitumes sont des matières minérales visqueuses, ordinairement noires ou brunes, composées d'oxygène,

d'hydrogène et de carbone, autrement des carbures d'hydrogène.

Les asphaltes sont des calcaires bitumineux.

§ 1. DES BITUMES.

213. Les bitumes se trouvent dans la nature sous plusieurs états différents, à l'état libre, simplement mélangés avec des gangues ou imprégnant des schistes ou des calcaires, d'une façon assez régulière pour faire partie de leur composition.

Si l'on examine ce qui se passe, quand on soumet un bitume à la distillation, il est facile de se rendre compte que la plupart d'entre eux, au lieu d'être un corps déterminé, sont plutôt des mélanges de divers carbures d'hydrogène, et par la distillation on obtient une série d'huiles minérales dont la volatilité décroît au fur et à mesure de l'avancement de l'opération, et en fin de compte, un brai sec analogue d'apparence au coke.

214. Voici quels sont les caractères physiques des bitumes, dont l'emploi donnera les meilleurs résultats dans les diverses opérations que nous allons étudier par la suite.

Il doit présenter une couleur noire avec reflets rougeâtres, être très-brillant à froid. Au-dessous de 10° de température, il casse franchement avec une cassure conchoïde, est un peu élastique jusqu'à 20°, pâteux vers 30 et devient liquide à 40°.

Le véritable bitume est loin d'avoir la vilaine odeur qu'on lui reproche généralement et qui est plus spéciale aux goudrons de gaz. C'est la présence de matières étrangères qu'on retrouve dans les goudrons, qui cause l'âcreté de l'odeur du bitume, qui pur a quelque chose d'aromatique.

215. Les bitumes employés dans l'industrie sont ou trouvés à l'état libre, comme dans certains lacs de l'île de Cuba et de la Trinité, ou mélangés dans des roches

verses, que l'on désigne souvent sous le nom de roche tumineuse et asphaltique.

Ils proviennent de la décomposition ou de la distilla-on naturelle des fossiles très-riches en carbone.

On en trouve à Aniches (département du Nord) une pèce, qui est noire et très-fusible, brûlant avec flamme.

A Murindo (Colombie), le bitume présente une odeur articulière de vanille en brûlant, et par la distillation urnit beaucoup d'acide benjoïque. On attribue cette articularité, à ce que les arbres de cette contrée conte-ient du benjoin.

La mer Morte fournit le fameux bitume de Judée, que on emploie tant dans la peinture et la photographie.

L'île de la Trinité présente le gisement le plus remar-uable de bitume. C'est un lac presque circulaire d'en-ron 5 kilomètres de tour, surnommé le lac de Poix, et ui est un vaste bassin plein de bitume.

Pour obtenir ces bitumes parfaitement purs, il faut les umettre à une série de liquations successives. On a roposé, et on emploie aujourd'hui un procédé beaucoup us rapide, et donnant des résultats infiniment supérieurs.

Il consiste à dissoudre le bitume dans un produit écial obtenu dans la distillation des schistes bitumi-eux et à le soumettre à une ébullition dans laquelle les npuretés se séparent.

Mais les sources les plus importantes du bitume sont lles où il se rencontre imprégnant des roches diverses ont on l'extrait.

Nous citerons *les molasses bitumineuses*, couches de ès imprégnés de bitume que l'on trouve dans l'Ain, u-dessus du banc des asphaltes, ou qui forment comme Auvergne des amas particuliers, et qui sont plus ou oins calcaires ou siliceux.

Le bitume s'extrait, en prenant le minerai concassé en etits morceaux d'environ 0,07 à 0,08 de côté, et en les tant dans des chaudières d'eau bouillante où l'on opère n brassage continu. Le bitume vient surnager à la sur-

face et il peut être employé tel que, ou après avoir ét soumis à une seconde opération.

§ 2. DES GOUDRONS.

217. Le bitume est, ainsi que nous le verrons, presqu'en tièrement employé à la fabrication d'un produit spécia dit *mastic bitumineux*.

Il existe encore d'autres produits industriels ren trant dans cette même famille et qui peuvent être uti lisés pour la fabrication de ce mastic bitumineux. C sont les goudrons de houille ou coaltar, et les brais.

Le goudron est un des résidus de la fabrication d gaz d'éclairage, pour lequel on emploie soit de la houill soit des schistes bitumineux, et en particulier le boghea qui est celui qui par une distillation lente, donne la pr portion la plus forte de goudron.

Tel qu'il provient de la fabrication du gaz, le goudro est impur et en particulier chargé de produits ammonia caux, qui rendent on ne peut plus désagréable son odeu Il faut donc lui faire subir une purification préalabl en le chauffant vers 100°.

Nous n'entrerons pas dans de plus grands détails, a sujet de la fabrication du goudron, industrie toute spe ciale qui dépend de la fabrication même du gaz d'écla rage, et sur laquelle on trouvera d'ailleurs dans les v lumes traitant des couleurs d'aniline, par M. Chatea et faisant partie de la collection, tous les renseignemen désirables.

Le brai est un des résidus de la distillation du gou dron ; il est sec ou gras, suivant qu'il est pur ou m langé d'un peu de goudron. Il est à peu près absor en entier par l'industrie des agglomérés de menus houille. Bien qu'avec lui et un mélange de calcaire o dinaire on puisse former un mastic bitumineux, ceu faits avec de l'asphalte naturel, et en particulier cel de Seyssel, ont une préférence incontestée.

§ 3. DES ASPHALTES.

218. On entend par asphalte, des calcaires bitumineux, c'est-à-dire du carbonate de chaux pur imprégné naturellement de bitume.

Cette sorte de roche se rencontre spécialement dans la partie supérieure du terrain jurassique. Sa couleur varie du chocolat au noir, sa cassure est résineuse et conchoïdale, elle se fait à froid, sa densité varie de 2 à 2.40.

Un bon calcaire bitumineux formant de l'asphalte propre à être employée, contient de 6 à 10 0/0 de bitume.

Cette matière est connue de toute antiquité. Pendant longtemps elle ne servit qu'à en extraire le bitume contenu, mais depuis quelques années l'emploi de la roche même pour la confection des chaussées dites en asphalte a beaucoup augmenté le débit de cette matière.

219. Nous avons dit qu'un calcaire bitumineux propre à fournir l'asphalte, devait contenir au moins 6 0/0 de bitume. Il sera facile, étant donné un échantillon de matière, de se rendre compte s'il remplit cette condition. On prend un poids donné qu'on réduit en poudre extrêmement fine, et qu'on dessèche à une température inférieure à 150°, afin de ne pas altérer le bitume. On traite cette poudre par un poids égal de sulfure de carbone pur en agitant, puis filtrant. Le sulfure de carbone qui a dissous le bitume l'entraîne avec lui, il reste donc sur le filtre le carbonate de chaux seul, dont le poids donnera par différence celui du bitume contenu. Il est bon de soumettre le calcaire restant sur le filtre à une série de lavages au sulfure de carbone, pour être bien certain de l'exactitude du résultat.

220. Les mines d'asphalte sont assez nombreuses, quelques-unes ont une réputation dans tous les pays.

Nous allons citer les plus connues en donnant quelques indications relatives aux produits qu'elles fournissent.

La plus importante est celle de *Seyssel* (Ain), sur le bord du Rhône. Son exploitation remonte à 1800 environ.

Cette mine offre cela de particulier qu'elle fournit à la fois le bitume et l'asphalte. Elle est en effet formée de couches intérieures de calcaire bitumineux, recouvertes par du sable bitumineux également d'où l'on extrait directement le bitume, le tout appartenant aux formations supérieures du terrain jurassique.

Seyssel est situé sur le bord du Rhône, et forme une colline de 400 mètres environ de longueur sur 100 de profondeur, entièrement composée d'asphalte en partie recouverte de molasse verte imprégnée de bitume. Cette masse d'asphalte est divisée en trois bancs séparés par des couches de calcaires blancs, d'une épaisseur fort irrégulière formant plutôt des amas qu'une couche continue.

Jusqu'ici l'exploitation est conduite à ciel ouvert.

Cette mine est la plus importante de toutes les mines d'asphalte, elle fournit à elle seule environ 10,000 tonnes de matières livrées au commerce, soit comme asphalte, soit comme mastic bitumineux.

Vient ensuite celle de *Val-de-Travers* sur la rive droite de la Reuse (Suisse). Elle se compose d'un gros amas exploité à ciel ouvert, plus riche en bitume qu'à Seyssel, mais moins étendu. La richesse en bitume va jusqu'à 12 et 13 0/0, ce qui se rencontre rarement.

Les rives du Rhône et certaines parties de la Savoie présentent une série de mines asphaltiques.

Nous citerons celle de *Volant-Perrette* qui fait face à Seyssel de l'autre côté du Rhône, et qui fournit des matières d'aussi bonne qualité. Il faut les exploiter par galerie souterraine, ce qui, au point de vue commercial, donne à la mine une situation moins avantageuse que son vis-à-vis.

A *Chavaroche*, près d'Annecy, existe une mine très-riche, qui est restée longtemps inexploitée par suite des difficultés de communication.

On en trouve encore dans le Bas-Rhin, à *Lobsann*. Ce inerai a un caractère spécial, il est très-huileux, exige ıe opération préalable pour le débarrasser de cette ıile, et ne sert qu'à fabriquer du mastic.

Enfin l'Auvergne, l'Espagne renferment, elles aussi, des ines d'asphalte.

Nous n'avons d'ailleurs cité que celles qui sont en exoitation. Cette matière existe abondamment dans la nare, et, sauf quelques difficultés d'abord qu'il faudra ıincre, on est certain que la consommation n'en manıera pas de bien longtemps.

221. L'asphalte s'extrait des mines à la manière du oellon, soit au pic, soit à la poudre, en exploitations à el ouvert ou par galeries. Nous allons voir quelles sont s diverses préparations qu'on lui fait subir.

La roche amenée sur le carreau de la mine, est conssée en morceaux qui peuvent passer dans un anneau huit centimètres. On comprend que cette opération t plus facile à faire par des temps froids que trop auds. On procède ensuite à la pulvérisation; cette opétion peut s'exécuter de deux façons différentes.

La première consiste à passer les fragments dans une uve, où ils se ramollissent, se séparent et tombent en ussière.

Cette opération s'exécute en disposant les fragments de che dans des caisses de tôle sur une hauteur moyenne 0m.20. Ces caisses sont introduites dans des cornues l'on entretient une douce chaleur aussi uniforme que ssible. On agite de temps en temps pour que tous les agments soient également chauffés.

Au sortir de cette étuve, la matière est versée sur une re plane, et on la pilonne avec des masses de fonte, ce ui achève la pulvérisation. On passe cette poudre au mis pour séparer les morceaux non réduits et appelés *abons*, qu'on concasse spécialement au maillet.

Ce système est délaissé aujourd'hui. On comprend qu'il ésentait une grande difficulté à chauffer la masse uni-

formément, ce qui conduisait ou à une augmentation d main-d'œuvre dans le pilonnage, ou à beaucoup de dé chet.

Ce procédé de pulvérisation à chaud s'emploie encor avec une certaine modification. Les morceaux de roch tels qu'ils viennent de la mine sont enfermés dans de cylindres de tôle, et soumis sous une assez forte pressio à la vapeur d'eau. Sous cette action, la roche tombe e poussière.

La seconde qui est presque exclusivement employé aujourd'hui, est beaucoup moins coûteuse et surtout plu régulière et n'apportant aucune altération au minera Elle s'exécute à froid, en broyant le minerai, soit entr des laminoirs, des moulins à noix analogues aux moulir à café des ménages, ou encore des meules verticales.

Au sortir des appareils de pulvérisation, la poudre e amenée dans des blutoirs, pour en séparer les fragmen qui auraient échappé à la pulvérisation. Les mailles d tamis n'ont que 0m.001 et demi de côté.

222. Cette poudre est portée aux chaudières et sert la confection d'un produit spécial appelé *mastic bitum neux*.

La roche ainsi pulvérisée est placée dans des chau dières de fer contenant 1,000 à 1,200 kilogrammes, au quels on ajoute du bitume liquide dans la proporti de 84 parties de bitume et 16 de calcaire. La cuiss s'opère très-lentement en brassant continuellement mélange pour obtenir une matière bien homogène. Lor qu'elle a atteint la consistance voulue, on la puise av de grandes cuillères de fer, et on la coule dans d moules de bois cylindriques à clavettes et enduits sable ou d'argile pour éviter que la matière n'y col Les pains ainsi obtenus sont livrés au commerce, ils o environ 0m.30 de diamètre sur 0m.10 à 0m.12 de hauteu Chacun d'eux pèse 25 kilogrammes. Ce sont ces pai que l'on voit tous les jours refondre dans de petit

haudières et qui servent à faire les trottoirs, et que l'on omme *mastic résineux*, ou plus simplement *bitume*.

On peut remplacer le brassage à bras d'homme par un gitateur mécanique.

L'opération s'exécute dans des chaudières cylindriques ermées, présentant 2 mètres de longueur sur 1 mètre de argeur, et traversées par un arbre armé de palettes, et ui, à son extrémité, est muni d'un filetage de vis sans in, par lequel il reçoit un mouvement continu de rotaion. Les palettes opèrent le brassage à l'intérieur de la haudière.

Dans ce cas on commence par faire fondre la quantité le bitume convenable, soit 140 ou 150 kilog., on met l'agitateur en mouvement, puis on ajoute la poudre d'asphalte petit à petit, jusqu'à ce que le mélange devienne pâteux et menace d'arrêter le mouvement de l'agitateur. On ajoute ordinairement 2,000 kilog. de poudre d'asphalte pour la quantité indiquée de bitume; l'opération exige cinq heures et demie.

C'est ce mastic résineux, ainsi qu'on le verra tout à l'heure, qui sert à confectionner les enduits sur trottoirs, désignés généralement sous le nom de bitume.

223. On a essayé de fabriquer des *bitumes factices* appelés aussi *lave fusible*, en mélangeant de la craie de Meudon, de la terre à four et du bitume, et les soumettant à une bonne cuisson. Ce produit, s'il est bien préparé, peut rendre des services, mais nous ne lui connaissons aucune qualité qui le puisse faire préférer au mastic bitumineux.

§ 4. EMPLOI DU MASTIC BITUMINEUX.

1° *Pour trottoirs.*

224. La confection des trottoirs au moyen du mastic bitumineux est une des applications les plus vastes de ce produit. Nous entrerons donc à ce sujet dans quelques

détails qui nous permettront de passer ensuite plus ra-
pidement sur les autres applications.

L'emploi de ces diverses matières est aussi simpl
que leur fabrication. Le mastic bitumineux livré en
pains est concassé et fondu à nouveau dans une petit
chaudière avec addition de un ou deux centièmes de bi-
tume ou de brai. L'opération s'exécute dans une chau-
dière en tôle disposée près du lieu du travail en bras-
sant bien la matière à l'aide d'un ringard en fer.

Le mastic bitumineux employé seul ne donnerait pa
de bons résultats ; cette matière est trop fusible, et dan
nos climats il y a des températures naturelles assez éle-
vées pour le ramollir complètement, et dans ces condi-
tions il ne pourrait servir aux dallages des trottoirs. Il
faut donc le mélanger avec du sable fin tamisé et forme
ainsi en quelque sorte un véritable mortier.

Cette quantité de sable varie, suivant la nature du tra-
vail, du tiers à la moitié du poids du mastic. Il faut réu-
nir trois qualités : que le produit ainsi obtenu ne se ra-
mollisse pas par les grandes chaleurs, ne fende pas pa
les gelées, et soit lors de sa confection assez fluide pou
être étendu facilement avec uniformité.

Pour les dallages des trottoirs, voici la condition re-
connue pour une bonne qualité du travail : Il faut qu'à
25° de température, une pointe d'acier ayant la form
d'une pyramide quadrangulaire dont la hauteur égale l
côté de la base, s'y enfonce de 5 à 6 millimètres sous un
pression de 70 kilogrammes prolongée 5 secondes.

Les chaudières qu'on emploie le plus ordinairemen
contiennent environ 300 kilogrammes de matière. Voic
comment on opère : On concasse les pains de mastic, qu
pesant 25 kilogrammes, sont donc au nombre de 10 à 12
en morceaux gros comme le poing; les ouvriers n'ont gé-
néralement pas cette patience et le concassent plus gros-
sièrement; on fait fondre le bitume (environ 2 p. 0/0)
on y jette un premier tiers du mastic, on brasse, o
ajoute 1 p. 0/0 de bitume, un second tiers du mastic, o

rasse de nouveau, et quand tout est en fusion, on joute une dernière charge de chaque matière.

On met le gravier quand tout est bien fondu. Du sable e rivière bien lavé, sans terre adhérente, sec au moient de l'emploi, en grains de la grosseur des draées, est le plus convenable. On ne le met pas d'un seul oup, cette incorporation se fait en deux ou trois fois, ttendant chaque fois que le sable ait pénétré de luiiême dans la masse, et ne brassant qu'après.

L'addition de ce gravier a pour but d'augmenter la réistance du mastic, et de combattre les mauvais effets de amollissement causés par l'élévation de la température, ui, en été sous nos climats, rend parfois l'enduit assez iou pour que le talon y laisse une empreinte. Il suit de là ue plus on en incorporera et mieux cela vaudra; il faut ependant que cette proportion ne soit pas telle qu'elle nlève au mastic la viscosité nécessaire pour l'étendre icilement sur place.

Voici les proportions le plus souvent employées à Paris our couvrir un mètre carré de surface, sur une épaiseur de 15 millimètres.

Mastic bitumineux.	24 kil.
Bitume.	1.500
Gravier.	15 kil.

L'on doit maintenir un feu donnant 150° environ de empérature; la cuisson dure 2 à 3 heures.

Voici d'ailleurs les caractères auxquels on reconnaît u'elle est terminée. Si on jette quelques gouttes d'eau à ı surface, elles s'évaporent avec un bruit sec et le mastic e doit pas adhérer après une palette en bois qu'on y longe.

Le bitume ainsi préparé est puisé dans la chaudière ıvec de grandes cuillères en fer, versé dans des seaux le bois, et étendu par bandes de $0^{m}.75$ à $0^{m}.90$ de lareur sur $0^{m}.015$ à $0^{m}.020$ d'épaisseur, sur une aire préarée d'avance en béton hydraulique ou toute autre forme

convenable. Il faut en tous cas que cette aire soit bie pilonnée, dressée et sèche. Cette dernière condition, qu est souvent négligée, est une cause de soulèvement et d fendillement du bitume.

L'enduit est étendu par un ouvrier dit *applicateur*, qu étale et comprime la matière avec une palette allongé en bois dite *spatule*, entre des règles de bois ou fe d'une hauteur correspondante à l'épaisseur à donner la couche. Au moyen d'une règle de bois, il vérifie en l glissant sur les autres s'il est bien de niveau, lisse l couche avec sa spatule, et son aide vient alors répandr avec un tamis du sable chaud à la surface. Quand il en recouvert une longueur d'environ $0^{m}.70$, il donne u coup de brosse pour enlever le sable en excès, et ave une batte, il incruste le sable dans le bitume encore u peu mou. Le travail doit être fait assez rapidement pou que le mastic ne soit pas entièrement froid avant d'êtr entièrement comprimé. Les raccords des différentes bande sont battus avec une petite masse en fer au moment d leur jonction pour en assurer la soudure, et passés en suite au fer chaud pour effacer tous les raccords. Un bea temps un peu chaud est le moment préférable pour cett opération. Le mastic est plus long à prendre, mais aus on gagne beaucoup en régularité et solidité.

Une des difficultés que présente ce travail, c'est la faço des joints; c'est là, en général, qu'est le point défec tueux.

Lorsqu'un joint se présente dans un travail contin entre deux bandes de mastic, et que la bande déjà posé n'est pas entièrement refroidie, la simple juxtapositio avec une compression un peu forte suffit pour assure la continuité de l'enduit. Il faut, bien entendu, qu'il n se trouve aucune matière étrangère au joint des bande

Le passage au fer chaud que nous avons indiqué plu haut a pour but de rendre cette soudure encore plu intime, et éviter que dans les retraits par refroidisse ment, il ne se produise quelque fissure en ce point.

Si le joint à faire a lieu avec une bande terminée depuis longtemps, il faut préalablement réchauffer la lisière en versant à cheval dessus, du mastic fondu qu'on ramasse à la spatule.

Pour assurer l'union du mastic avec les trottoirs, les parapets ou les murs, il faut faire faire dans la pierre, une petite entaille horizontale de 0m.05 à 0m.06 de profondeur et dépassant au-dessus et au-dessous la couche de 2 à 3 centimètres. On l'enduit de goudron chaud sur ses faces et on la remplit de mastic, en faisant faire à celui-ci un bourrelet le long de la pierre formant jet d'eau, et empêchant les infiltrations. Ces précautions sont utiles à prendre dans les revêtements de voûtes.

Pendant bien des années, la confection des trottoirs s'est exécutée comme nous venons de le dire. On faisait sur place la fusion et le mélange du bitume, du mastic et du sable, et tout le monde a rencontré ces chaudières dans la rue et a été incommodé par l'odeur désagréable qui imprégnait tous les environs.

225. Depuis quelques années, on a heureusement modifié les chaudières dans lesquelles se fait la fusion du bitume au moment de son application. On emploie en petit les chaudières fermées avec un agitateur mécanique utilisées aux usines. Ces cylindres, montés entre les fusées d'un essieu recourbé et d'une paire de brancards, portent un petit foyer inférieur qui sert à maintenir la fusion de la masse. L'appareil part chargé, du dépôt, du mélange déjà en fusion, le conducteur donne de temps en temps quelques tours de manivelle extérieure qui agit sur l'arbre à palettes. Arrivé sur place, on ouvre une soupape inférieure et vide la matière dans les seaux au fur et à mesure des besoins.

Ce nouvel appareil constitue un perfectionnement notable sur l'ancien procédé, tant au point de vue de l'emploi économique de la matière, que de la suppression d'un travail incommodant sur la voie publique.

2° *Usages divers du mastic bitumineux.*

226. Nous avons donné avec détails l'emploi du mast bitumineux à la confection des trottoirs, il nous reste citer les quelques applications les plus courantes de cett matière, renvoyant pour le mode d'emploi au paragraph précédent.

Une des principales, et pour laquelle ce mastic con vient admirablement, c'est le revêtement des terrasse où il est bien supérieur à tous les ciments.

Le travail, tout en étant conduit ainsi que nous l'avor dit, présente cependant une petite particularité. On l fait en deux couches, la première dite *grasse*, plus rich en bitume, qu'on recouvre d'une seconde couche dit sèche.

Voici comment on compose cette couche grasse, pou un mètre carré :

Mastic bitumineux.	7kil.400
Bitume.	0 . 600
Gravier.	4 . »

La seconde couche est plus dure; elle résiste davantag au poids des objets placés sur la terrasse, mais elle s fendille facilement aux variations de température, e laisserait se produire des infiltrations dangereuses, san la présence de la couche inférieure plus résistante cette action particulière.

Les terrasses en charpente se prêtent moins bien à u recouvrement en mastic bitumineux que celles en ma çonnerie.

Il faut que la terrasse soit telle que aucune flexion n soit à craindre, car autrement il ne tarderait pas à s produire des fissures qui ne laisseraient plus la terrass étanche.

Ce que nous venons de dire pour les terrasses en char pente, s'applique encore mieux aux toitures. Aussi, bie

ue des essais aient été faits pour l'emploi du mastic itumineux dans ce cas, on y a presque renoncé, en tant u'application directe ; car, grâce à un artifice, les maières bitumineuses sont au contraire et avec grand avanage employées pour toitures, par l'emploi du carton biuminé. La couche de carton qui se trouve interposée ntre la charpente et le bitume, met celui-ci à l'abri des ccidents que pourraient amener le tassement, la flexion u le jeu qui se produit dans le bois. De plus, on a pu onner aux toits des pentes de beaucoup supérieures à elles possibles en y appliquant directement la couche e bitume sur place ; enfin le travail est beaucoup facité. Toutes ces raisons justifient le grand développeient qu'a reçu cette application des matières bitumieuses.

Le mastic bitumineux s'emploie aussi pour la confecon des chapes de ponts ou tunnels. On pose une couche e mastic gras par dessus les maçonneries, pour les préerver des infiltrations provenant soit de la chaussée, oit des remblais qui se trouvent par dessus.

C'est cette même raison de protection contre l'humiité qui explique encore son emploi pour revêtir les onstructions militaires, telles que casemates, magasins oûtés et recouverts d'épaisses couches de terre.

Le dallage des écuries se fait souvent avec cette maère. Il présente sur le pavé de grands avantages, il ne e fait aucun dépôt d'urine donnant lieu à des émanaons fétides, il est plus facile à nettoyer. Seulement il tait beaucoup trop glissant et aurait été abandonné, si n n'avait pas usé d'un artifice : le striage, qui consiste, l'aide de règles en fer, à tracer une série de raies reuses se coupant en losange, pendant que la matière st encore chaude, et à reproduire ainsi l'apparence du avé avec ses joints.

On s'en est beaucoup servi depuis quelques années our la pose des planchers.

On a du plancher tout préparé en petites lames, que

l'on place par bandes formant une série de V droits e
renversés. On prépare le terrain comme pour un trottoi
on l'enduit de la même façon, et on pose le planche
dans ce mastic encore chaud où il s'incruste et adhère
Les planchers ainsi obtenus sont très-bons, ils sont bie
moins perméables à la poussière, et beaucoup moins so
nores.

Citons encore les fondations des maisons dans les te
rains humides, soit qu'on puisse opérer pendant la con
struction ou après coup.

Dans le premier cas, il suffit de placer entre deux as
sises une couche de mastic bitumineux, comme on place
rait une couche de mortier. On est assuré que l'humidit
ne montera pas au-delà dans le reste de la construction.

Dans le second, on fait une sorte de fossé autour de l
fondation, que l'on remplit de mastic bitumineux. Enfin
on l'emploie pour revêtir les citernes, les caves, les fosse
d'aisances, etc.

Nous terminerons par l'application aux travaux mari
times, auxquels nous consacrerons un paragraphe spe
cial.

3° *Blocs en béton d'asphalte, par M.* Malo.

227. M. Malo a préparé un béton à l'aide de l'asphalte
qui a donné lieu de sa part à une communication à l
Société des Ingénieurs civils. Nous allons transcrire le
termes dans lesquels il est rendu compte de cette com
munication. On remarquera à ce sujet quelques observa
tions qui ne sont pas sans intérêt pour les personnes qu
s'occupent des matériaux de maçonnerie.

« Dans la séance du 15 février 1861 de la Société de
Ingénieurs civils, M. Malo a donné lecture d'une no
sur la construction de blocs artificiels en béton d'asphal
pour les fondations maritimes. Il a rappelé d'abord qu
toutes les chaux, toutes les pouzzolanes essayées jusqu
ce jour n'ont pu résister à l'action prolongée de l'ea
salée, elles sont attaquées par les sels de magnésie qu

étruisent la cohésion en transformant ces calcaires en roduits solubles.

C'est surtout sur les blocs artificiels en béton ou en açonnerie de moellons, dont la solidité dépend certaiement de l'action chimique, que s'exercent ces redoubles ravages : les blocs auxquels on donne généraleent la forme de parallélipipèdes rectangles, reçoivent s chocs répétés des vagues, puis, en perdant leurs êtes et leurs angles qui sont attaqués tout d'abord, ils ont envahis et détruits. Le problème à résoudre était e trouver un ciment dont les éléments n'aient aucune finité pour les sels de la mer. Ce ciment est l'ashalte.

Si on se rapporte aux explications que nous avons onnées au sujet de la constitution et de la préparation du astic d'asphalte, on voit que ce n'est autre chose que u carbonate de chaux dont tous les pores sont occupés ar du bitume, de façon que la matière forme un tout ompact de grains accolés les uns aux autres et entièreent revêtus d'une substance qui est inattaquable aux tions de l'eau de mer.

D'où cette conclusion à priori : que ce mastic est un ment énergique, il adhère à la pierre avec une telle rce qu'on ne peut l'en détacher sans le casser, il jouit fin d'une sorte d'élasticité qui lui permet de supporter s chocs les plus violents sans se briser et sans se fisrer. La nature même de ce ciment le rend inattaquable ır les sels de la mer, le carbonate de chaux étant insenble aux agents marins et le bitume n'étant dissous que ır les huiles, les essences, les éthers, les alcools et le phte; l'expérience a confirmé ces vues, des blocs en phalte immergés depuis quinze mois n'ont pas été seument effleurés.

Vers le mois d'avril 1860, de nouveaux essais ont été faits ıx travaux de défense à la pointe de Grâve (Gironde). Des ocs faits entièrement en mastic d'asphalte eussent coûté rt cher, même en introduisant dans le mastic des

pierres ou des cailloux en grande quantité. Or, comm
les pierres ou cailloux sont simplement destinés à fai
du poids et à tenir de la place, il suffirait, pour diminu
le prix de revient, de n'employer l'asphalte qu'à la su
face des blocs et composer le centre avec des matéria
à bas prix, qui n'eussent d'autre mérite que leur poi
spécifique.

C'est sur ce principe qu'ont été établis les blocs de
pointe de Grâve ; sur une plate-forme, on a monté u
caisse à mouler les blocs en béton ordinaire, on a di
posé à une distance de 40 à 50 centimètres les uns d
autres des moellons à longue queue piqués sur la fa
qui reposait sur la plate-forme, puis on a coulé u
épaisseur de 10 centimètres de béton d'asphalte ; ce bét
était ainsi composé : 5 bitume pur, 95 mastic d'asphal
fondus ensemble dans une chaudière semblable à cel
employées dans les rues de Paris ; 150 pierres ou gal
cassés ajoutés en trois fois dans la masse et agités av
elle de manière à être bien imprégnés de mastic. Ava
que cette couche de béton d'asphalte fût refroidie, on
a répandu du gros caillou cassé damé fortement, de m
nière à le faire pénétrer dans le mastic, puis on a lai
refroidir. Sur cette couche, on a monté le massif de m
çonnerie, qui se trouvait en parfaite liaison par
queues des moellons ; ce massif avait sur chaque face
centimètres de moins que les dimensions fixées pou
bloc. A l'extérieur, les joints des moellons furent dég
dés profondément de manière que les parements fuss
abruptes et irréguliers. Les côtés de la caisse qui avai
été démontés pour faciliter le travail furent remon
puis le béton d'asphalte coulé dans les vides ; il for
ainsi tout autour du bloc une couche dont l'épaiss
varie de 8 à 15 centimètres. Quatre blocs ainsi constr
furent immergés à la pointe de Grâve.

Des essais plus importants vont être tentés ; trois bl
cubant 26 mètres chacun, seront coulés à Rochefort,
un point réputé dangereux entre tous pour les trav

a mer. En supposant un bloc de 9 mètres, revêtu d'une paisseur moyenne de 10 centimètres, on peut établir le evis suivant, en supposant que le travail s'exécute en n port quelconque de l'Océan, depuis Dunkerque jusu'à Bayonne.

Noyau, maçonnerie de moellons bruts et haux grasse, 06m.5 à 21 fr.	136 fr. 50
Enveloppe, béton d'asphalte de Seyssel, m.05 à 125 fr. 40.	313 . 50
Total, abstraction faite des frais généraux t bénéfices.	450 fr. »

Soit par mètre 50 francs.

C'est le prix des blocs en ciment de Portland qui ne urent que sept ou huit ans, tandis qu'on peut espérer ne durée presque indéfinie aux blocs d'asphalte.

M. Edmond Roy a cru devoir rappeler à cette occasion u'en 1850, et au Hâvre en 1853, M. Bertram, conducəur des ponts-et-chaussées à Alger, a fabriqué et emloyé des blocs cimentés avec du bitume; les expérienəs faites par lui ont bien réussi, mais n'ayant pu obtenir ue son procédé fût employé sur une grande échelle, il 'a pas poursuivi ses travaux. M. Roy pense toutefois ue c'est à M. Bertram que doit revenir la priorité de invention.

M. Malo a fait observer qu'il n'avait pas connaissance es travaux de M. Bertram, et que les ingénieurs des orts de l'Océan auxquels il a communiqué ses propres lées à ce sujet ne lui ont pas parlé d'expériences antéieures. Dans tous les cas, il faut remarquer, dit-il, que our les blocs qu'il exécute, il emploie du *mastic d'ashalte*, c'est-à-dire un ciment énergique, comme on peut 'en convaincre par les échantillons qu'il présente à la ociété, et non du *bitume* qui n'offre aucune résistance ux variations de température. Enfin, les blocs sont nixtes, c'est-à-dire en maçonnerie ordinaire, revêtue 'une couche de béton d'asphalte, ce qui rend leur prix bordable.

M. Hamers a fait observer que, bien que partisan de idées de M. Coignet, il croit que la surface de ces béton résisterait moins à l'action corrosive des eaux marine que le mastic asphaltique de M. Malo. Il ajoute que le inventions de MM. Coignet et Malo paraissent néanmoin appelées, non à s'exclure réciproquement, mais au contraire à se prêter un mutuel appui par l'emploi du béto monolithe de M. Coignet, comme noyau, avec masti d'asphalte comme enveloppe.

M. Malo a répondu que le béton Coignet dont il reconnaît les propriétés particulières, est, comme tous le bétons de mortier, obtenu par une action chimique, e que, par conséquent, il rentre dans la catégorie de ceu dont les sels seront tôt ou tard décomposés par l'eau d mer.

M. Faure pense que ce qui accélère les ravages d l'eau de mer sur les matières, c'est surtout la présenc de l'eau en excès dans les ciments, et en outre la poro sité de bétons faits suivant les méthodes ordinaires; ce deux défauts n'existent pas dans les bétons Coignet, des petits blocs immergés dans des solutions saturées d chlorure de magnésium sont restés inattaqués.

M. Malo croit, en effet, que s'il n'y avait pas exc d'eau dans les bétons il seraient attaqués moins facile ment, mais que néanmoins, au bout d'un certain temp l'action destructive doit se produire.

M. Carvalho, ingénieur des ponts-et-chaussées, a rappelé qu'il a publié un mémoire où il constate que le Babyloniens et les Romains ont employé l'asphalte pou les travaux maritimes, et qu'on a retrouvé des vestige nombreux et bien conservés.

On a demandé pourquoi du bitume est ajouté à l'asphalte, au lieu du brai sec en poudre comme on le fa dans la fabrication des agglomérés. M. Malo a répond que l'asphalte est un calcaire ne se comportant pa comme la houille, qui est elle-même une espèce de bitume riche en carbone.

§ 5. DE L'ASPHALTE COMPRIMÉ.

228. Nous avons déjà dit plusieurs fois, que depuis ıelques années, l'application de l'asphalte à la confec- ›n des chaussées avait considérablement augmenté la nsommation de cette matière. C'est cette nouvelle ap- ication que nous allons étudier avec quelques détails, qui vient bien justifier l'opinion que nous avons émise début de ce chapitre, à savoir qu'au point de vue pra- ıue, dans bien des circonstances et pour les dallages en rticulier, les matières qui nous occupent venaient lutter antageusement avec les ciments.

Le premier essai de ce genre date de 1850, et fut comme aucoup de découvertes le résultat d'une observation :entive d'un fait accidentel. Ce fut un Suisse, M. Méran, ıi fit établir la première chaussée en asphalte. De nom- 'eux essais furent tentés dans différents pays, et en 50 M. Darcy, inspecteur divisionnaire des Ponts et ıaussées, dans un rapport au ministre des travaux ıblics sur les chaussées de Londres et de Paris, indiqua premier, l'importance et les avantages des chaussées asphalte comprimé, recommandant d'en faire une 'ge application dans Paris. Bien que ce ne soit que ıelques années plus tard que ce système ait pris son ritable essor, le mérite des vues de M. Darcy n'est pas ɔins très-grand dans la question, et aujourd'hui ce sys- me qui est aussi connu que le pavage, le macadam, nd à prendre une extension de plus en plus grande.

229. Voici quel est le principe de ce système de aussée.

La roche pulvérisée se trouve être un mélange de par- :ules solides, calcaire plus ou moins imprégné de bi- me, et de particules de bitume. En comprimant ce élange à une température suffisante, on obtient une rte de fusion des particules bitumineuses qui déter- inent la soudure de la masse et lui rendent les pro-

priétés primitives de dureté et de solidité de la roch après l'avoir adapté à une forme spéciale.

Si au lieu de l'enfermer dans un moule, on la dispos sur une aire plane, suivant une épaisseur convenable, qu'alors qu'elle est encore chaude, on la comprime pa un procédé quelconque, elle formera en refroidissant un vaste plaque solide qui produira tout à fait l'effet d'un vaste dalle de calcaire découpée dans la carrière, et qu'c serait venu sceller sur place.

Passons maintenant aux moyens d'exécution.

230. Bien qu'on emploie les mêmes matières que pou le dallage des trottoirs, on leur fait subir des manipu lations un peu différentes.

La roche calcaire bitumineuse, après son extraction, e simplement concassée en morceaux de la grosseur c poing, et expédiée du lieu d'extraction aux usines s tuées dans les grandes villes.

Dans ces usines, elle est broyée mécaniquement, pu passée dans des réchauffeurs où la température est po tée à 130° environ. C'est cette poudre chaude qu'on tran porte dans des tombereaux en tôle et qui sert à form le revêtement de la chaussée.

Ce broyage mécanique s'exécute au moyen d'appare puissants mus par la vapeur. Ce sont des trains lam neurs, composés d'une série de laminoirs successifs, q l'amènent à l'état de galette de un centimètre envir d'épaisseur.

L'on emploie deux appareils *réchauffeurs* différents s vant que l'on a à chauffer une masse plus ou moins gran de matière. Si le poids ne dépasse pas 7 à 800 kilog., la dispose sur des grandes plaques de tôle, chauffé en dessous par un foyer convenablement disposé, des hommes armés de râteaux à long manche, l'agite constamment, afin que toutes les particules soient bi également soumises à l'action de la chaleur.

Si, au contraire, on traite de grandes masses, on en ploie un appareil qui n'est autre qu'une vis d'Archimè

qui se meut dans un cylindre fixe, que traverse un courant d'air chaud. La poudre froide est versée par charges consécutives, dont l'intervalle correspond à la durée d'un tour de rotation de la vis, à l'une des extrémités. Elle traverse tout le cylindre où règne une température de 300° environ et sort toute préparée à l'autre extrémité. Cette méthode offre naturellement une régularité beaucoup plus grande que la première, et donne un produit infiniment supérieur. Au sortir d'un quelconque de ces appareils, la poudre est chargée toute chaude dans des tombereaux en tôle qui la transportent aussitôt sur la place où doit être confectionnée la chaussée.

La chaussée ou l'emplacement qui doit recevoir ce revêtement a dû être préalablement préparé; à l'aide d'une couche de béton hydraulique de 0m.10 à 0m.15 d'épaisseur, qui aura été bien damée et bien séchée. Nous ne pouvons que renvoyer aux observations faites à ce sujet, à propos de la confection des trottoirs. On comprendra encore mieux par la suite, combien il est indispensable que cette couche soit bien sèche, si l'on ne veut pas que le travail que l'on fera ensuite ne soit complétement perdu. La poudre chaude amenée dans les tombereaux de tôle est répandue sur place sur une épaisseur de 5 à 6 centimètres environ, qu'on égalise le mieux possible au râteau.

Il faut alors maintenant procéder à la compression de cette couche pour qu'en refroidissant, elle reprenne l'apparence du calcaire primitif.

Ce revêtement s'opère généralement par bandes successives de 1 mètre de large et disposées perpendiculairement à la chaussée. On commence par pilonner les lisières. Pour cela, l'ouvrier va prendre dans une sorte de grand réchaud rempli de coke allumé, et placé à côté du chantier, un pilon, qui est formé de masses de fer, de formes diverses, rondes, rectangulaires, carrées, d'environ 0m.05 d'épaisseur sur 0m.25 de longueur au plus et 0m.05 de largeur, emmanchées à des tiges de bois de

1 mètre environ de longueur. On réduit ainsi la masse sur ses bords, à l'épaisseur définitive qu'elle devra avoir, et avec le pilon circulaire, on pilonnera alors toute la superficie.

Quand cette première opération est achevée, on saupoudre à l'aide d'un tamis toute la superficie d'une couche très-mince qui vient remplir toutes les inégalités qui ont pu se produire pendant le pilonnage, et on lisse la surface au moyen de grands fers plats emmanchés à des manches inclinés, et qu'on chauffe avant de s'en servir.

Dans certains cas, on termine enfin par un passage au rouleau. Ce rouleau qui tourne librement autour de son axe auquel viennent se rejoindre les deux bras d'une flèche qui sert à le tirer, est fermé par deux plaques percées de trous, dont une munie d'une porte, permet d'y introduire du coke allumé qui maintient le rouleau au degré de température voulue.

L'entretien est ensuite très simple ; lorsque par suite d'un accident, il vient à se produire une détérioration sur un point de la chaussée, on enlève cette partie en découpant au pic tout autour de la partie endommagée, et l'isolant ainsi du reste de la chaussée. Cette partie est enlevée et remplacée par une couche de poudre chaude que l'on comprime sur place. La Compagnie des Asphaltes a même imaginé depuis peu un nouveau matériel destiné spécialement à ce service : C'est une sorte de petit charriot bas, dont le fond est formé d'une plaque de tôle percée de larges trous, et que l'on tient rempli de coke allumé. On roule ce charriot au dessus de la portion à réparer quand la poudre y est répandue, afin de la porter au degré de chaleur voulu pour obtenir une bonne prise. Ce nouveau système présente encore cet avantage, que l'on chauffe en même temps les lisières de la partie qui subsiste et assure ainsi la soudure de la partie ancienne et de la nouvelle. Il y a plusieurs grandeurs de charriot correspondant aux dimensions les plus ordinaires des parties qui sont l'objet d'une réparation partielle.

Les chaussées ne sont pas les seules à recevoir ce re-êtement. Il convient encore mieux, si l'on peut s'expri-ier ainsi, pour les dallages de grandes cours intérieures, e corridors dans les administrations, les cours d'écu-ies, etc., etc. D'ailleurs aujourd'hui, il est inutile de ıire de nombreuses citations, il n'y a qu'à prier le lec-ıur de regarder un peu par terre, pour qu'il voie rapi-ement à Paris tous les exemples que nous pourrions iter.

Pour les grandes villes, où la circulation est très-fré-uente, on donne à la couche d'asphalte une épaisseur e 0m.07, qui se trouve après le travail réduite à 0m.055.

Dans les cours intérieures, une couche de 0m.04 ré-uite après compression à 0m.03, suffit parfaitement.

Il faut que la forme soit bien dressée et bien sèche, ıns quoi l'humidité qui s'échapperait sous la chaleur e l'asphalte, empêcherait complétement le travail, ou ɔut au moins le rendrait défectueux.

231. Sans nous étendre beaucoup sur la discussion re-.tive à l'emploi de ce système, et sa comparaison avec ɜux qu'on appliquait autrefois, nous dirons cependant uelques mots qui permettront de comprendre le grand ıccès qu'il a eu, et pourquoi il prendra de plus en plus 'extension.

Nous nous en référerons pour cette appréciation à des ıtorités compétentes dans la matière, MM. de Coulaine , Homberg, Ingénieurs des Ponts-et-Chaussées qui ont .é chargés du service de la voie publique, et qui ont ıblié dans les annales des Ponts les résultats de leurs avaux et de leurs observations.

L'invention des chaussées en asphalte est venue à un oment où l'administration de la ville de Paris était en ıelque sorte aux abois, pour l'entretien et la confection ɜs chaussées.

Les anciens grès devenaient de plus en plus difficiles à ouver d'une part, et de l'autre si leur emploi donne excellents résultats, il est certain qu'une ville de luxe

comme Paris, ne pouvait conserver un pavage comme celui qui forme nos belles routes nationales, mais qui comporte avec lui un cahotement et un bruit impossible dans ce cas.

Le macadam eut alors une période de triomphe. Mais les difficultés d'entretien, la poussière par les temps secs, la boue en temps de pluie, causes d'autant de détériorations qui rendaient l'entretien très-onéreux, ont fait chercher un nouveau procédé.

On a bien essayé de remplacer le pavé de grès ordinaire, dont l'usure est très-prompte, par une matière plus dure, des porphyres et autres roches d'origine ignée, mais qui ont donné de mauvais résultats. Si la matière est en quelque sorte inusable, elle prend rapidement un poli qui rend la circulation dangereuse. Les chevaux ne peuvent y trouver prise, et soit par un temps très-sec ou un peu humide, ils n'ont pas pied.

Les chaussées en asphalte ne présentent pas ces inconvénients. Elles ne donnent ni boues, ni poussières, sont parfaitement insonores, d'un entretien facile et enfin économiques.

Un grand reproche que l'on a adressé aux chaussées en asphalte c'est d'être glissantes, et pour les chevaux de luxe de présenter des chances d'accident; ajoutons d'ailleurs que sur ce point il y a grande controverse. Voici ce que M. de Coulaine dit à ce sujet :

« Remarquons d'abord que toutes les chaussées participent plus ou moins dans certaines circonstances données au même inconvénient, et que les empierrements qui y sont le moins sujets offrent un autre défaut, qui produit, moins souvent il est vrai, des accidents semblables. On voit, en effet les chevaux butter et s'abattre assez fréquemment lorsque leurs pieds viennent à rencontrer des aspérités et des pierres saillantes dont la superficie de ces empierrements est couverte. Les pavages, surtout quand leur entretien est négligé, sont dans le même cas, et en outre ils sont très-glissants. Mais pa

une disposition de l'esprit humain, on est beaucoup moins frappé des faits qui se passent journellement, et depuis longtemps sous les yeux ; de plus on est très sévère et souvent très injuste pour tout ce qui concerne les inventions nouvelles : qu'un cheval vienne à s'abattre sur un empierrement ou un pavage, on le remarque à peine, et l'on sera porté à attribuer cet accident non à la chaussée, mais au cheval, au cavalier, ou au conducteur de la voiture. Si le même fait, au contraire, a lieu sur un bituminage, on se répandra en plaintes amères, et l'on ne manquera pas de s'en prendre à la nature même de la chaussée. Quoi qu'il en soit, on ne saurait nier que les dallages en bitume, à surface uniformément dure, ne deviennent dans certains cas beaucoup plus glissants que les pavages. »

Pour établir la valeur égale des chaussées en asphalte, à celles établies par les anciens procédés, M. de Coulaine continue ainsi :

« D'abord en temps de neige ou de verglas, les chaussées en asphalte ne sont pas plus glissantes que les pavages et les empierrements, et quelques grains de sable suffisent pour donner prise aux pieds des chevaux. Si d'une part, la gelée blanche s'attache généralement plus facilement aux dallages bitumineux, d'un autre côté elle fond ainsi que le verglas produit par la neige beaucoup plus promptement. Il arrive même assez souvent que les empierrements se couvrent le matin de gelée blanche, parce que la surface est restée humide, tandis que celle du bitume, qui s'est séchée n'en offre pas de trace. Ainsi toute compensation faite, il y a à peu près sous ce rapport, égalité entre les différentes espèces de chaussées. »

« En été, les chaussées en asphalte ont un avantage marqué sur les pavages, parce que leur surface se ramollit assez pour donner prise aux pieds des chevaux, tandis que les pavés deviennent alors extrêmement glissants, surtout après une longue sécheresse. Cette supé-

riorité se maintient, dans tous les cas, tant que la tempé rature n'est pas inférieure à 20° environ. »

« Elle se maintient encore au-dessous de cette tempé- rature, si la surface du bituminage est sèche et si ell est recouverte d'une certaine épaisseur de boue dessé- chée ou de poussière. »

« Vers 15°, il y a à peu près égalité entre les deux es pèces de chaussées, lorsque la surface en restant sèch apparaît à nu. »

« Dans toutes les autres circonstances, les chaussée en bitume deviennent plus glissantes que les pavages Cependant tant que la surface n'est pas humide, ou tan que la boue qui la recouvre reste liquide, les chevau continuent à marcher assez facilement, surtout s'ils n'on pas de traction trop considérable à exercer, s'ils ne s'ef- frayent pas ou s'ils ne se jettent pas à l'écart. »

« Il n'en est plus ainsi dans l'état intermédiaire, c'est- à-dire lorsque la boue en commençant à se dessécher prend corps et s'agglutine. Le dallage qui devient dur une basse température, est alors recouvert d'une couch de boue grasse et unie qui rend la marche des chevau difficile. Les pavés sont, il est vrai dans les mêmes cir- constances, encore plus glissants, parce qu'ils sont plu durs; mais leurs joints forment des points d'arrêt, o les chevaux viennent prendre pied. »

Les inconvénients résultant de ces dernières circons- tances que M. de Coulaine signale, peuvent être facile ment corrigés, soit en jetant du sable à la surface de l chaussée, soit, comme on le fait à Paris, en lavant grande eau; opération facile à exécuter dans une grand ville, où grâce aux balayeuses mécaniques on se débar rasse bien vite de la boue que l'on forme et qui serai un inconvénient d'un autre genre pour la circulation.

En résumé, l'expérience a montré aujourd'hui que le chaussées en asphalte ne présentent pas pour la circulatio d'obstacles plus grands que les systèmes employés autre- fois. Elles demandent un entretien soit d'arrosage, soit d

sablage, facile d'ailleurs, et qui en en supprimant les défauts, font éclater leur supériorité sur les autres.

Ajoutons que si l'on arrive à disposer, ce que nous ne doutons pas de voir d'ici peu, un appareil qui répande rapidement le sable à la surface d'une chaussée, et qui soit à la brouette et à la pelle, ce que sont aujourd'hui les tonneaux ou les lances, à l'ancien arrosoir, tous les défauts reprochés à ces chemins disparaîtront.

Enfin il est intéressant, après avoir montré que ce système de confection de chaussée l'emporte sur les autres, au point de vue des services qu'il peut rendre, d'étudier aussi la question de dépense.

Voici les divers prix de revient, soit comme premier établissement, soit comme entretien des différents systèmes.

	1er *Etablissement.*	*Entretien annuel.*
	Le mètre superficiel.	
Macadam.	7 fr.	2 fr. 50
Nouveau pavé.	20	1 . »
Asphalte comprimé. . .	15	1 . 25

Il semblerait ressortir de ce tableau que l'avantage est pour le macadam, mais nous répéterons ce que nous avons déjà dit à son sujet. Les variations fréquentes dans son état exigent un service permanent, soit d'arrosage, soit de balayage, et cette main-d'œuvre vient augmenter considérablement la dépense.

Ce qui n'est pas possible pour les voies publiques, à cause de la grande circulation qui s'y fait, mais que l'on peut parfaitement établir pour les travaux particuliers, comme dallages de cours d'écuries, etc., c'est de pratiquer un striage qui supprime entièrement les inconvénients du glissement. Il suffit pour cela de disposer un réseau métallique sur la surface de la poudre que l'on pilonne de façon à ce que sa surface supérieure vienne arraser avec celle de la couche d'asphalte; on enlève ce réseau quand la couche est refroidie et l'on pratique ainsi l'apparence d'un pavage à joints plus ou moins creux.

§ 6. CONDITIONS ORDINAIRES DES TRAVAUX DE DALLAGE AU MASTIC BITUMINEUX.

232. Les travaux dans lesquels on emploie le masti bitumineux comprimé sont le plus souvent de l'ordre de travaux publics, lesquels sont en général soumis à u nombre de règles fixes. Nous avons cru intéressant d donner les principales conditions qui régissent les tra vaux pour le compte de l'administration de la ville, les quelles pourront servir de type pour l'exécution de tou les travaux de ce genre, qu'ils soient commandés par un administration ou par un particulier.

Les trottoirs ont des largeurs variables déterminée suivant les circonstances locales ; ils sont composés d'u dallage en bitume soutenu, du côté de la voie publique par une bordure dont le relief est ordinairement de 0m.1 à 0m.10 au-dessus du pavé contigu de la chaussée. C relief est diminué devant les passages de porte cochère et augmenté près des bouches d'égout.

Les bordures sont ordinairement en granit ou en grès en calcaire ou en fonte.

Les bordures ordinaires en granit ont 0m.15 de hauteu au-dessus du pavé, 0m.30 de largeur au sommet, 0m.3 à la base, et sur la face supérieure une légère pente e travers de 0m.01. Elles ont une hauteur totale de 0m.3 prise sur la face postérieure, et un fruit de 0m.03 sur l face antérieure.

Si la hauteur au-dessus des pavés est plus petite qu 0m.15, on ne diminue que la hauteur proportionnelle ment.

Les bordures ordinaires en calcaire présentent les di mensions suivantes : 0m.20 de largeur au sommet, in cliné de 0m.01, 0m.24 de largeur à la base, 0m.30 de hau teur sur la face postérieure verticale, et un fruit de 0m.0 sur la face antérieure.

On les pose sur des massifs de moellon hourdé en mor

tier hydraulique, sur une hauteur moyenne de 0m.25, avec saillie de 0m.01 sur la face antérieure de la bordure, et 0m.05 sur la face postérieure.

Les dallages bitumineux seront formés d'une couche de mastic de 0m.015 d'épaisseur reposant, soit sur une couche de béton hydraulique de 0m.10, soit sur une couche de gravier parfaitement pilonné et arrosé avec un lait de chaux hydraulique.

A propos de la confection de ce mastic, voici quelles sont les conditions imposées par la ville. Elle classe les mastics bitumineux en deux catégories :

1° Mélange de bitume naturel avec 1/12 au plus de son poids de roches calcaires asphaltiques de Seyssel, Val-de-Travers, ou Lobsann.

2° Mélange de bitume naturel avec 1/10 de son poids de roche asphaltique d'Auvergne.

Le bitume doit provenir du lavage des grès bitumineux, il devra être visqueux à la température ordinaire, mais jamais liquide ou cassant. La roche calcaire sera tendre, à grains fins, de texture serrée, de couleur uniforme brune, contenir au moins 7 0/0 de bitume, ne pas exiger pour sa transformation en mastic plus de 9 0/0 de bitume.

La roche d'Auvergne sera un grès bitumineux, de couleur verdâtre, parsemé de points brillants, contenir au moins 10 0/0 de bitume, et ne pas exiger, pour la transformation en mastic, plus de 11 0/0 de bitume.

Les matières entrant dans la composition des dallages seront dosées ainsi :

Mastic bitumineux.	100 kil.
Bitume.	6
Sable.	60

La chaux employée sera de la chaux hydraulique éteinte et immergée sous l'eau ; elle devra supporter l'aiguille de Vicat au bout de 10 ou 15 jours, suivant la température.

Le caillou passera dans un anneau de 0m.06 de diamè-tre, il sera siliceux et propre.

Le sable sera de rivière et bien nettoyé, et celui destin au mastic sera parfaitement lavé et séché, et criblé au crible de 0,005.

Le mortier sera composé de 2 de sable et 1 de chaux le béton de 3 de cailloux et 2 de mortier.

Le terrain sur lequel devra être établi un dallage en mastic bitumineux sera toujours préalablement pilonné arrosé et damé avec soin ; on y disposera une couche d béton de 0m.08 d'épaisseur revêtue d'une chape de mor-tier de 0m.02. On peut remplacer cette préparation pa une couche de béton bitumineux de 0m.05 d'épaisseur, o de sable recouvert de mortier.

En tous cas, le dallage en bitume ne sera posé qu lorsque cette fondation aura atteint la consistance voulu et sera sèche.

On cassera le mastic en morceaux de 0m.10 de côté, o fera fondre le bitume, on ajoutera ensuite le mastic cass par petites quantités. Le sable ne sera ajouté que quan toute la masse sera bien en fusion.

§ 7. OBSERVATION SUR LES MINES D'ASPHALTE.

233. A propos des exploitations des pierres qui ser vent à fabriquer les chaux et ciments, nous avons d qu'au point de vue des lois et réglements, ces gisemen étaient classés parmi les carrières et nous avons ci quelques-unes des prescriptions qui régissent cette ex ploitation.

Il n'en est pas de même ici. Les gisements de matièr bitumineuses ne sont plus classés de la même façon, i sont rangés parmi les mines et, par suite, soumis quelques prescriptions différentes, que nous croyons d voir indiquer sommairement ici.

L'origine de cette classification est même assez singu lière. Elle remonte à une contestation qui s'éleva ent

un des premiers concessionnaires et les voisins, lors du développement subit que prit la consommation de ces matières.

Voici dans quelles circonstances :

Vers 1800, comme nous l'avons dit, il fut accordé par le Directoire une concession pour l'exploitation des molasses bitumineuses qui étaient situées sur les terrains formant aujourd'hui la mine de Seyssel. Peu de temps après, les applications du mastic bitumineux ayant pris de l'extension, on reconnut que l'on pouvait extraire le bitume, du calcaire bitumineux qui se trouvait dans le sol au-dessous des couches de molasse. Mais au moment où le concessionnaire se disposait à entreprendre ce nouveau travail, les habitants du pays élevèrent une difficulté, prétendant que l'exploitation des molasses était du ressort des carrières, que la nouvelle constituait une mine, et que par suite la concession accordée primitivement ne pouvait comprendre cette seconde, et ils la revendiquaient pour leur compte particulier.

D'où naturellement procès; et la Cour de Lyon constituée juge par le conseil d'Etat, donna gain de cause aux réclamants. Le conseil des Mines pendant ce temps émettait un avis contraire, disant qu'un gîte bitumineux était une mine et non une carrière, et que par conséquent la première concession comportait les droits entiers pour le premier concessionnaire. Rejet de cette décision par le ministre, nouvel appel devant le conseil d'Etat qui, enfin, en 1843, confirma purement et simplement la décision du conseil des mines, à savoir : que les matières minérales sont classées parmi les mines, minières ou carrières, non point d'après leur mode d'exploitation, mais d'après la nature de la substance exploitée.

Les gisements de matières bitumineuses sont donc considérés comme mines.

Celles-ci ne peuvent être exploitées qu'en vertu d'un acte de concession délibéré par le conseil d'Etat, ce qui

établit déjà une grande différence avec ce qui est relatif aux carrières.

Cet acte règle les droits des propriétaires de la surface sur le produit des mines concédées.

Toutes les dispositions de la loi de 1810 à laquelle nous nous reportons en ce moment, indiquent bien que la propriété de la surface ne confère par elle-même aucun droit privatif et direct sur les mines, et par suite sur les substances qui les composent.

La propriété d'une mine est sans doute la propriété du concessionnaire, mais c'est une propriété modifiée par sa relation immédiate avec la surface, dont la propriété a, elle-même, reçu une modification grave par la concession de la mine.

Loin de déroger aux conséquences qui résulteraient de la nature des choses, et des principes généraux du droit, la loi de 1810 a littéralement consacré le principe d'indemnité en faveur du propriétaire du sol, pour tous les préjudices que lui cause l'exploitation d'une mine.

On ne peut modifier une concession, en augmenter ou en restreindre l'étendue, on ne peut réunir plusieurs concessions en une seule, qu'en remplissant toutes les formalités exigées pour l'institution des concessions elles-mêmes.

Nul ne peut faire de recherches de mines, enfoncer des sondes ou des tarières sur un terrain qui ne lui appartient pas, que du consentement du propriétaire de la surface, et avec l'autorisation du Gouvernement, donnée après avoir consulté l'administration des mines, à la charge d'une préalable indemnité envers le propriétaire et après qu'il aura été entendu.

C'est toujours au préfet que doit être adressée cette demande en autorisation, et en cas de refus du propriétaire du sol, le Gouvernement peut passer outre pour cause d'utilité publique. Cette permission ne préjuge d'ailleurs en rien sur le choix qui pourra être ultérieurement fait d'un concessionnaire définitif.

L'exploitation des mines n'est pas sujette à patente.

Les propriétaires de mines sont tenus de payer à l'Etat une redevance fixe, et une redevance proportionnée au produit de l'extraction.

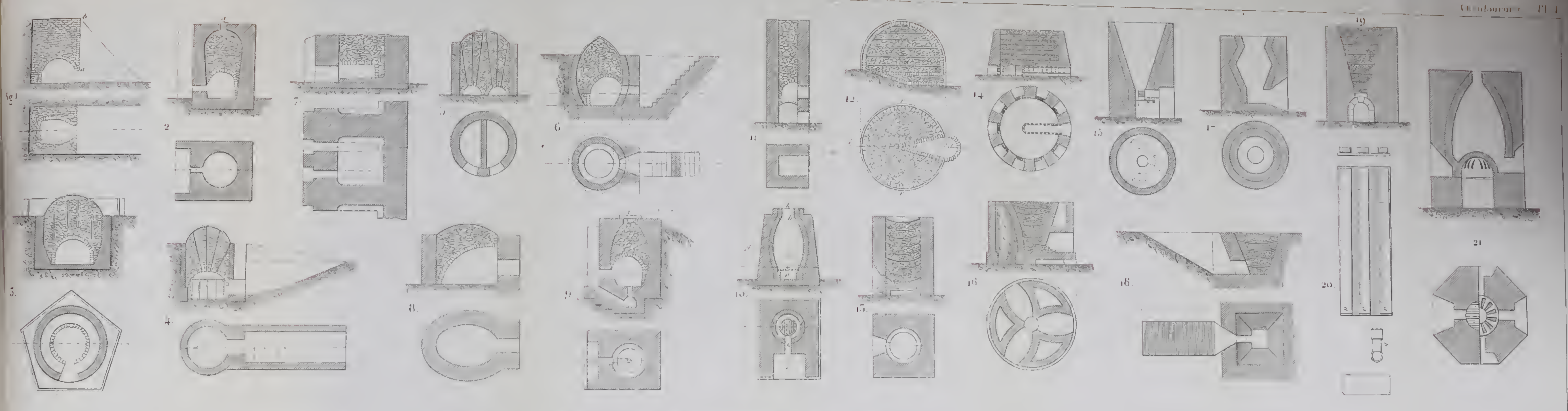
Ils sont tenus, en outre, de payer les indemnités dues aux propriétaires de la surface sur le terrain duquel ils établiront leurs travaux.

Cette indemnité sera réglée par l'autorité judiciaire, lorsqu'elle n'aura pu l'être à l'amiable.

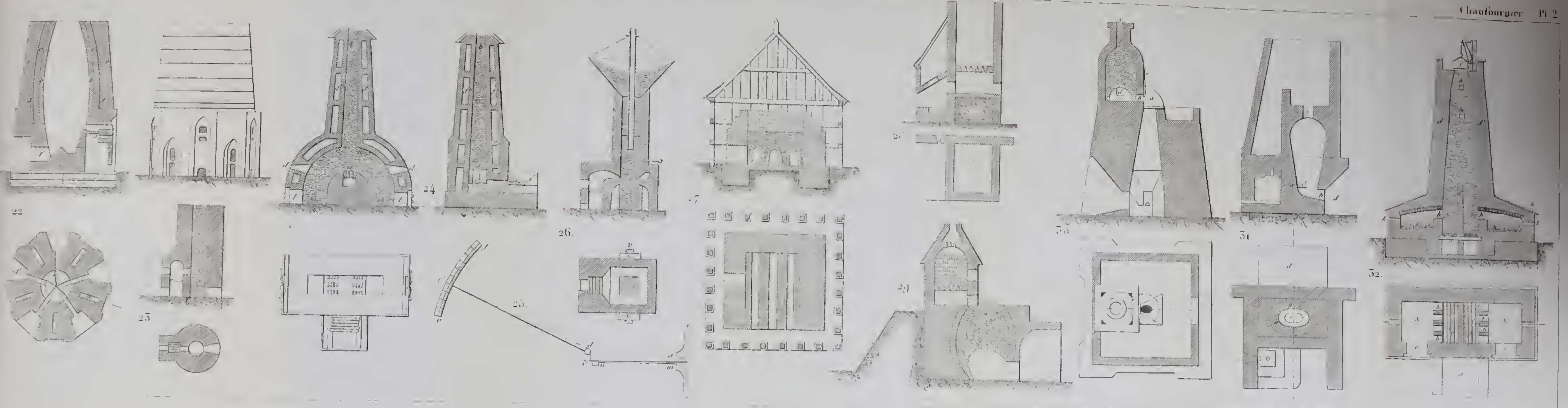
Les ingénieurs des mines exerceront, sous les ordres du ministre de l'intérieur et des préfets, une surveillance de police pour la conservation des édifices et la sûreté du sol.

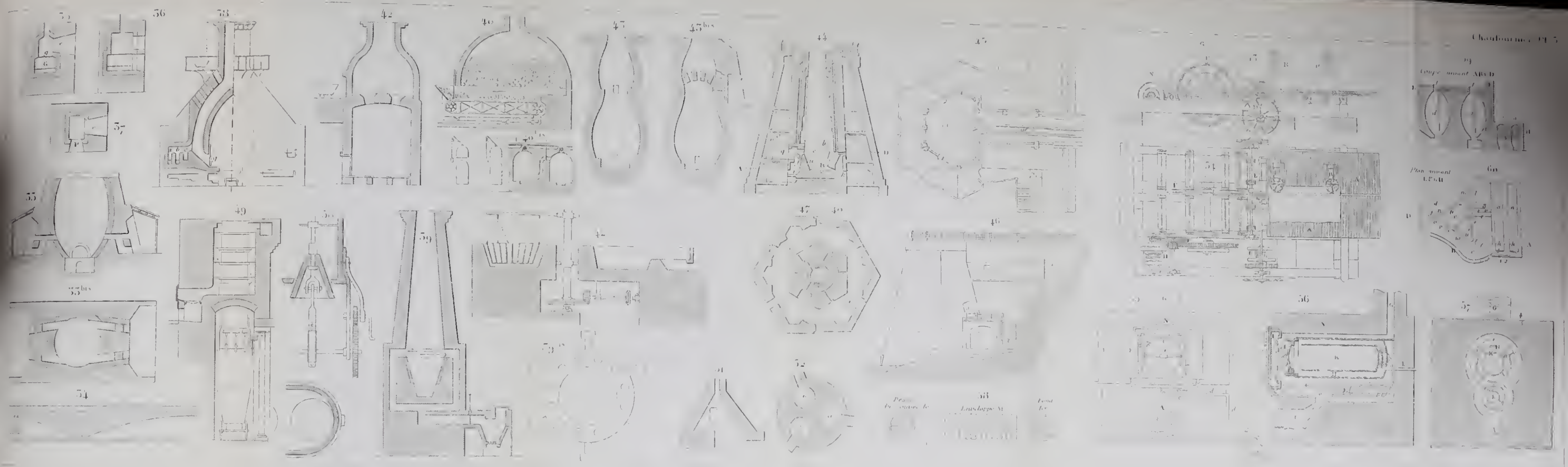
Ils observeront les procédés d'exploitation, soit pour éclairer les propriétaires en cas d'inconvénients, soit pour avertir l'administration des dangers ou abus qu'ils auraient découverts.

Telles sont les dispositions générales qui règlent cette exploitation, et que nous avons cru devoir indiquer à cause des différences qu'elles présentent avec l'exploitation des carrières.



Imp. Roret, r. Hautefeuille 12.


22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32


Coupe suivant ABCD
Plan suivant

EXPLICATION DES PLANCHES.

Nos des figures.		Nos du texte.
1.	Cuisson de la chaux sans construction de four.	80
2.	Four de Montreuil-sur-Mer.	83
2 à 9.	Soles de four sur lesquelles on place le combustible.	83
2 et 9.	Fours à petits gueulards.	83 et 82
3.	Four employé à Metz (83). Disposition des pierres (48). Voussoirs en pierres. Morceaux de bois introduits dans le four.	83
3, 4, 5, 6, 7 et 8.	Fours à grands gueulards (83). Disposition du gueulard.	83
4.	Four employé en Champagne (83). Morceaux de bois introduits dans le four.	83
4 et 6.	Fours intermittents à grande flamme, construits dans la terre.	82 et 83
5.	Four employé sur les bords de l'Ems..	83
7.	Four employé dans les environs de Strasbourg.	83
8.	Four bâti en pierres sèches, employé près de Mauriac.	83
9.	Four intermittent à grande flamme, construit hors de terre (82). Employé à Nemours (83). x obturateur.	83

Nos des figures.		Nos du texte.
10.	Four à calcination périodique à grande flamme (99). Four à la tourbe de MM. Deblinne et Donop (84). Retraite du four en briques.	84
10 et 11.	Fours à grilles.	84 et 85
11.	Four à la houille.	85
12.	Four intermittent à petite flamme, chauffé à la houille.	86
13.	Four intermittent à petite flamme et au charbon de bois.	86
14.	Four intermittent à petite flamme servant à calciner des écailles d'huîtres, au moyen de la tourbe..	86
15 et 16.	Fours coulants à petite flamme.. . . .	91
16 et 17.	Fours coulants à petite flamme chauffés à la houille..	91
18 et 19.	Fours coulants à petite flamme chauffés au bois, au charbon de bois ou à la tourbe.	92
20.	Echelle d'un pyromètre.	
21,22 et 23.	Fours coulants à grande flamme. . . .	87
22 et 24.	Fours avec vides réservés dans la maçonnerie.	87
25.	Pyromètre de M. Brongniart..	53
26.	Four à cuire l'argile pour fabriquer la pouzzolane artificielle.	105
27,28 et 29.	Fours à double effet.	94
30,31 et 32.	Fours qui servent à la calcination de la chaux au moyen des flammes perdues (95). Dimensions des fours.	95
33 et 33 *bis*.	Four à chaux M. Simonneau, de Nantes.	87
34.	Construction de Brunnel pour essayer la force des ciments.	152

Nos des figures.		Nos du texte.
35,36 et 37.	Petit fourneau d'essai.	27
38.	Four roulant Eldson...	93 *ter*
39 et 39*bis*.	Four à gaz Steinman.	93 *ter*
40 et 40*bis*.	Four de Swann.	93 *ter*
41.	Malaxeur pour la fabrication des ciments artificiels.	157
42.	Four à cuire les ciments artificiels. . .	157
43 et 43*bis*.	Four à foyers superposés de M. Petot. .	96
44, 45, 46, 47 et 48.	Four roulant à grande flamme chauffé à la tourbe.	88
49 et 50.	Four continu à cuire le plâtre de M. Ramdohr.	165
51 et 52.	Fours à compartiments proposés par M. Vicat.	97
53 et 54.	Machine à couper la pierre..	187
55 et 58.	Générateur de vapeur surchauffée pour cuire le plâtre..	167
59 et 60.	Appareil pour cuire le plâtre, système de M. Violette..	167
61 et 62.	Cuisson du plâtre sous des hangars. Voûtes construites à sec, en pierres à plâtre..	164
63.	Générateur à gaz pour la cuisson du plâtre, par M. Ebelmen.	166
64.	Générateur de vapeur sèche pour cuire le plâtre, système de M. Testud de Beauregard.	168
65 à 72.	Pointerolle et outils de mines.	181
73.	Roue à chevilles ordinairement employée dans les carrières.	192
74.	Appareil pour élever des terres ou de petits matériaux d'un niveau à un au-	

Nos des figures. Nos du texte.

tre, en n'employant que le poids de l'homme. 192

75. Charriot à rouleaux. 192

76. Action des forces d'une roue à chevilles. 193

77 et 78. Plan incliné automoteur. 210

79. Disposition du plan incliné à une seule voie. 210

80. Rencontre de voie sans aiguilles. . . . 209

81. Rencontre avec aiguilles. 209

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE Ier.

Généralités sur la chaux.

Pages.

1. Composition de la chaux. 1
2. Carbonate de chaux. 1
3. Carbonate de chaux à l'état naturel. 1
4. Spath d'Islande. 2
5. Arragonite. 3
6. Marbres. 3
7. Pierres. 3
8. Craie. 7
9. Dolomie. 7
10. Marne. 8
11. Albâtre. 9

De la composition des calcaires. Chaux qu'ils produisent et propriétés des diverses chaux. 9

12. Chaux aériennes et hydrauliques. 9
13. Chaux grasses. 10
14. Chaux maigres. 10
15. Chaux hydrauliques naturelles. 10
16. Tableau des relations entre les produits de la calcination des calcaires. 11
17. Composition de divers calcaires et des chaux obtenues par calcination. 13
18. Conclusions tirées de ce tableau. 14
19. Résumé. 14
20. Nouvelles classifications des chaux. 14
21. Composition des ciments. 16
22. Caractères de la silice, de l'alumine, de la magnésie et de quelques-uns de leurs composés. 17

23. Chlorures. 22
24. Analyse chimique des calcaires. 22
25. Carbonate de chaux pour métallurgie.. . . . 22
26. Carbonate de chaux pour l'agriculture. . . . 22
27. Carbonate de chaux pour la fabrication des chaux et ciments. 23
28. Analyse au point de vue de l'hydraulicité. . . 24
29. Analyse des produits de la calcination. . . . 28
30. Chaux hydrauliques et ciments. 29
31. Pouzzolanes.. 30
32. Mortiers. 30
33-38. Analyse chimique des pierres en général. 32
39-44. Analyse de la pierre à plâtre. 34
45. Appareil de M. Vicat pour mesurer l'hydraulicité des chaux et ciments. 38

CHAPITRE II.

Fabrication de la chaux.

46. Choix de la pierre à chaux. 39
47. Préparation de la pierre avant la cuisson. . 41
48. Arrangement de la pierre dans un four à calcination périodique et à grande flamme. . . 42
49-50. Cuisson de la pierre à chaux. 44
51-52. Refroidissements accidentels. 48
53. Appréciations de la température d'un four. — Pyromètres. 51
54. Indices d'une cuisson terminée. 53
55. Refroidissement de la chaux. 55
56. Examen de la chaux.. 56
57-58. Distinction des chaux après cuisson. . . . 57
59. Mesurage et transport de la chaux. — Tassement. 59
60. Conservation de la chaux. 60
61. Nombre d'hommes nécessaires au service d'un four. 62

62. Fabrication du marbre artificiel par la fusion du carbonate de chaux. 62
63. Combustibles employés dans la cuisson de la chaux. 63
64-65. Tableau des quantités de chaleur développée par les combustibles. 64
66. Combustibles dans les fours à grande flamme. 67
67. Conduite du feu. 68

CHAPITRE III.

Emploi de la chaux.

68. Usages généraux de la chaux. 71
69. Chaux vive. — Chaux éteinte. — Foisonnement. 72
70. Extinction de la chaux. 73
71-74. Discussion des divers procédés d'extinction. — Aperçu des mortiers et bétons. . . 75
75. Emploi de l'eau. 80
76. Sables. 83
77. Des mortiers. 88
78-79. Des bétons. 91

CHAPITRE IV.

Fours à chaux.

80. Historique. 95
81. Cuisson en tas. 96
82. Fours intermittents, ou à calcination périodique à grande flamme. 97
83. Chaufours au bois. 97
84. — à la tourbe. 100
85. — à la houille. 102
86. Fours intermittents ou à calcination périodique, par superposition ou à petite flamme. 103
87. Fours constants, ou à calcination continue à grande flamme. 109

88. Chaufour à la tourbe. 113
89-90. Fours coulants, ou à calcination continue à petite flamme. 114
91. Fours à la houille. 120
92. — au bois. 121
93. — à la tourbe. 122
93 bis. Systèmes de diverses inventions. 124
94. Fours à double effet. 126
95. Fours qui servent à la calcination de la pierre calcaire à l'aide de la chaleur qui s'échappe dans diverses opérations. 129
96. Fours à foyers superposés. 136
97. — à compartiments. 137
98. Règles générales pour l'établissement des fours à chaux. 137
99. Considérations sur les différents systèmes des fours à chaux. 140

CHAPITRE V.

Matières hydrauliques.

100. Composition de ces matières. 144
101-102. Pouzzolane naturelle. 146
103. Trass de Hollande. 149
104. Pouzzolanes artificielles. 150
105. Poudre d'argile cuite. 154
106. Basaltes. 161
107. Arènes. 161
108. Psammites. 162
109. Schistes calcinés. 162
110. Grès à gangue argileuse. 163
111. Grès ferrugineux. 164
112. Matière formée d'argile et de potasse. 164
113-115. Cendres. 165
116. Scories et laitiers. 166
117. Terres ocreuses. 166
118. Poudre de brique ou tuileau. 170

CHAPITRE VI.

Chaux hydrauliques.

119. Chaux hydraulique naturelle. 171
120. Travaux de M. Vicat. 171
121-122. Composition des principaux calcaires à chaux hydrauliques naturelles. 172
123-125. Remarques générales. 173
126. Note sur la fabrication et l'emploi du mortier à chaux hydraulique. 180
127-136. Chaux hydraulique artificielle. 183
137-140. Aperçu du prix de revient de la chaux hydraulique artificielle. 191
141. Remarques générales. 195

CHAPITRE VII.

Ciments.

142-148. Ciments naturels. 196
149. Notice sur les principaux ciments français et étrangers. 203
150. Proportion de sable à mélanger au ciment. . 226
151. Force d'adhérence des ciments. 228
152. Appareils de mesure de cette force. 229

CHAPITRE VIII.

Ciments artificiels.

153. Historique. 232
154-155. Travail de M. Paley. 233
156. Recherches sur les propriétés diverses que peuvent acquérir les pierres à ciment et à chaux hydrauliques par l'effet d'une cuisson incomplète, par M. P.-S. Vicat. 237
157. Fabrication des ciments. 247

CHAPITRE IX.

Action de l'eau de mer sur les mortiers.

158. Travaux de M. Vicat. 256
159. Etudes faites sur la digue de Cherbourg. . . 260
160. Travaux de MM. Rivot et Chatoney. 262

CHAPITRE X.

Plâtre.

161. Du plâtre. 272
162. De ses usages. 272
163. De ses propriétés. 273
164. Cuisson du plâtre. 276
165. Fours divers. 279
166. Cuisson au moyen des gaz combustibles. . . 280
167. Cuisson par la vapeur d'eau surchauffée. . . 289
168. Travail de M. Testud de Beauregard sur la cuisson du plâtre par la vapeur d'eau. . . 298
169. Pulvérisation du plâtre. 304
170. Gâchage du plâtre. 306
171. Prix de revient. 307
172. Extraction de l'acide sulfurique du plâtre. . 307
173. Plâtre fin. 310
174. Plâtre durci ou aluné. 311

CHAPITRE XI.

Exploitation des carrières.

175. Extrait de la loi du 21 avril 1810, sur les mines, minières et carrières. 312
176. Recherche et exploitation des carrières. . . . 316
177. Carrières de pierres calcaires. 317
Exploitation des carrières. 318

178. Exploitation à ciel ouvert. 318
179. Exploitations souterraines. 320
Abattage des roches dures. 322
180. Abattage à l'outil. 322
181-183. Abattage à la mine. 322
184. Emploi du fulmi-coton. 325
185. Fabrication du fulmi-coton. 326
186. Composition de poudre pour les mines. . . . 327
187. Machine à couper la pierre. 327

CHAPITRE XII.

Main-d'œuvre.

188. Considérations générales. 331
189-199. Des moteurs. 332
200-208. Notions sur le transport des fardeaux. . 341
209-211. Chemins de fer pour le service des mines et des carrières. 348
211 *bis*. De l'emplacement à donner aux usines. . . 359

APPENDICE.

Bitumes et asphaltes.

§ 1. Des bitumes. 364
213. Composition des bitumes. 364
214. Caractères physiques.. 364
215. Gisements. 364
§ 2. Des goudrons. 366
§ 3. Des asphaltes. 367
218. Définition des asphaltes. 367
219. Analyse d'une asphalte. 367
220. Mines d'asphalte. 367
221. Extraction. 369
222. Mastic bitumineux. 370
223. Bitumes factices. 371
§ 4. Emploi du mastic bitumineux.. 371

224. Emploi pour trottoirs. 371
225. Chaudière pour la fusion. 375
226. Usages divers. 376
227. Blocs en bétons d'asphalte, par M. Malo. . . 378

§ 5. De l'asphalte comprimé. 383

228-229. Des chaussées en asphalte. 383
230. Préparation de la matière et confection des chaussées. 384
231. Considérations sur les chaussées en asphalte. 387

§ 6. Conditions ordinaires des travaux de dallage en mastic bitumineux.. 392
§ 7. Observations sur les mines d'asphalte.. . 394

Explication des planches. 399

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

BAR-SUR-SEINE, — IMP. SAILLARD.

